

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu korozního prostředí na vlastnosti
ochranných povlaků**

**Study of Influence Corrosive Environment on
Characteristics Protective Coatings**

Student:

Bc. Eliška Černá

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof.h.c.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Eliška Černá**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Studium vlivu korozního prostředí na vlastnosti ochranných povlaků
Study of Influence Corrosive Environment on Characteristics Protective Coatings

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu hodnocení korozní agresivity korozního prostředí.
2. Prostudujte vlastnosti povlaků vhodných do náročného korozního prostředí.
3. Prostudujte vliv technologie aplikace ochranných povlaků na jejich protikorozní odolnost.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.
BARDAL, E.: *Corrosion and Protection*. Springer - Verlag London Limited, 2004. 315 s. ISBN 1-85233-758-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

Eliška Černá
.....
ELIŠKA ČERNÁ

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2012

..... Eliška Černá

podpis

Adresa trvalého pobytu: Bc. Eliška Černá
Olomoucká 337
783 91 Uničov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ČERNÁ, E.: *Studium vlivu korozního prostředí na vlastnosti ochranných povlaků*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 85 s. Vedoucí práce: Podjuklová, J.

Diplomová práce je zaměřena na studium vlivu korozního prostředí na vlastnosti ochranných povlaků. Agresivita korozního prostředí má základní vypovídající vlastnost o dané lokalitě umístění ocelové konstrukce a patří k důležitým parametrům při volbě kvalitní protikorozní ochrany materiálu. K nejrozšířenější protikorozní ochraně se jednoznačně řadí povrchová ochrana nátěrovými systémy. Experimentální část práce je zaměřena na testování nátěrových systémů určených pro aplikace na ocelové konstrukce s dlouhodobou expozicí v korozním prostředí. Otryskané vzorky na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½ s aplikovanými nátěrovými systémy byly exponovány v umělé atmosféře solné mlhy a v agresivním roztoku, jenž se používá pro testování tzv. zrychlenou ponorovou zkoušku. Následně bylo provedeno hodnocení degradace a přilnavosti testovaných nátěrových systémů. Na závěr experimentální části byl gravimetrickou metodou zjištěn obsah těkavých organických látek v nátěrových hmotách.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ČERNÁ, E.: *Study of Influence corrosive environment on characteristics protective coatings*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 85 p. Leader: Podjuklová, J.

This thesis is focused on the study of the influence of corrosive environment on the properties of protective coatings. Aggressive corrosive environment is a basic feature of revealing the location of the steel structures and these are important parameters in choosing high-quality corrosion protection material. The most common corrosion protections are one surface protection coating systems. The experimental part is focused on testing of coating systems applied on steel structures and their long-term exposure to the corrosive environment. Blasted samples with surface preparation grade Sa 2 ½ with the applied coating systems were exposed in an artificial salt mist atmosphere and corrosive solution that is used to test the speed margin test. An evaluation

of degradation and adhesion of tested paint systems followed. At the end of the experimental part gravimetric method was used to find volatile organic compounds in paint.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD.....	12
1. KOROZNÍ PROSTŘEDÍ.....	13
2.1 Koroze kovů	13
2.2 Dělení korozního prostředí.....	13
2.3 Vývoj korozního prostředí v ČR	14
2.4 Korozní agresivita prostředí	16
2.5 Druhy koroze.....	16
1.5.1 Dělení dle mechanismu korozních dějů	16
1.5.2 Dělení podle vzhledu.....	17
1.5.3 Dělení podle prostředí	19
2. PROTIKOROZNÍ OCHRANA PODKLADOVÝCH MATERIÁLŮ NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY	22
2.1 Typy nátěrových systémů na trhu v ČR a jejich vlastnosti	22
2.1.1 Typy nátěrových hmot	22
2.1.2 Typy nátěrových systémů	25
2.1.3 Rozdělení nátěrových hmot	27
2.2 Složení nátěrových systémů	28
2.2.1 Složení nátěrových hmot	28
2.3 Ekologické požadavky na nátěrové hmoty.....	29
2.3.1 Základní pojmy	30
2.3.2 Činnost při vzniku emise VOC	30
2.3.3 Bezpečnost práce	31
2.3.4 Právní úprava	31
3. PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	32
3.1 Otryskávání	32
3.1.1 Technologie suchého otryskávání.....	35
3.1.2 Technologie mokrého otryskávání	37
3.1.3 Tryskání suchým ledem	39
3.2 Kartáčování a broušení.....	40
3.2.1 Technologie broušení.....	40
3.2.2 Technologie kartáčování.....	41
3.3 Vliv předúpravy povrchu na přilnavost nátěrových systémů.....	41
4. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK.....	43
5. POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK.....	44
5.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1	44

5.2	Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3.....	44
5.3	Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287	45
5.4	Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu	46
5.4.1	Měření tloušťky mokré vrstvy.....	46
5.4.2	Měření tloušťky suché vrstvy	46
5.5	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou	47
5.6	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování.....	47
5.7	Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou.	48
5.8	Hodnocení nátěrových systémů	50
5.8.1	Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2.....	50
5.8.2	Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3	50
5.8.3	Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu.....	51
5.8.4	Hodnocení přilnavosti nátěrových systémů	51
6.	CHARAKTERISTIKA VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ	54
6.1	Charakteristika vzorků	54
6.2	Značení vzorků	55
6.3	Nátěrové systémy použité pro experiment	55
6.3.1	REMOPLAST EP ZINK	55
6.3.2	REMOPLAST HS – KST FAST	56
6.4	Vizuální hodnocení čistoty povrchu.....	56
6.5	Hodnocení zaprášení povrchu	57
6.6	Hodnocení drsnosti podkladového materiálu	58
6.7	Aplikace nátěrových hmot	59
6.8	Měření mokré a suché vrstvy nátěrového filmu	60
6.9	Vyhodnocení korozní zkouška v umělé atmosféře	63
6.10	Vyhodnocení zrychlení ponorové zkoušky	67
6.11	Stanovení obsahu těkavých organických látek gravimetrickou metodou	72
7.	ZÁVĚR	74
	LITERATURA.....	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM GRAFŮ	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Název	Jednotka
ČSN	Česká státní norma	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rzn	Největší výška profilu	[μm]
Rq	Střední kvadratická úchylka profilu	[μm]
Rp	Největší výška výstupků profilu	[μm]
Rv	Největší hloubka prohlubní profilu	[μm]
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie)	[-]
Rku	Špičatost posuzovaného profilu	[-]
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	[-]
VOC	Volatile Organic Compounds	[-]
TOC	Total Organic Carbon	[-]
A/B	Adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou (základem)	[-]
B	Kohezní poškození první vrstvy	[-]
B/C	Adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou	[-]
C/D	Adhezní poškození mezi druhou vrstvou a m-tou vrstvou vícevrstvého systému	[-]
D	Kohezní poškození m-té vrstvy vícevrstvého systému	[-]
-/Y	Adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem	[-]
SO ₂	Oxid siřičitý	[-]
CO	Oxid uhelnatý	[-]
NH ₃	Amoniak	[-]
HCl	Chlorovodík	[-]
λ _c	Filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti	[mm]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]
m_{NHV}	Hmotnost nátěrové hmoty aplikované z injekční stříkačky	[g]
m_{OF}	Hmotnost prázdné laboratorní misky	[g]
m_{NHF}	Hmotnost laboratorní misky s vysušenou nátěrovou hmotou	[g]

ρ_{NH}	Hustota nátěrové hmoty	$[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$
m_{VS}	Hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci nátěrové hmoty	[g]
m_{PS}	Hmotnost injekční stříkačky s nátěrovou hmotou	[g]
m_{PF}	Hmotnost laboratorní misky s nátěrovou hmotou	[g]
$m(i)$	Hmotnost laboratorní misky s nátěrovou hmotou v průběhu vytvrzování	[g]
m_{OS}	Hmotnost prázdné injekční stříkačky před aplikací nátěrové hmoty	[g]
V_S	Objem stříkačky (<i>objem nátěrové hmoty</i>)	$[\text{cm}^3]$
AY	Akrylátové polymery	[-]
PUR	Polyurethanové pryskyřice	[-]
CR	Chlorkaučuk	[-]
PVC	Vinylové polymery	[-]

ÚVOD

Expanze průmyslové výroby, která je zapříčiněna zvyšujícími se požadavky spotřebitelů, zásadně ovlivňuje vývoj kvality znečištění ovzduší, což je celosvětový problém. Organizace spojených národů ve spolupráci se zákonodárci jednotlivých států řeší otázku globálního problému úpravou zákonů s následnou kontrolou emisí a v případě porušení sankcionalizováním. Tyto emise působí negativně na životní prostředí, lidský organizmus a zároveň na anorganické materiály kolem nás. Proto se vývoj nátěrových systémů dlouhodobě ubírá k využití ekologických surovin, které mají negativní vliv na životní prostředí. Jedná se především o tzv. těkavé organické látky, jež s oxidy dusíku způsobují vznik přízemního ozónu, který je silně oxidační činidlo a negativně ovlivňuje plicní tkáň a sliznice.

Korozní prostředí má zásadní vliv na životnost ocelových konstrukcí (mostní konstrukce, výrobní haly, rozhledny, atd.), které jsou nedílnou součástí pozemního stavitelství. Základním stavebním materiálem pro konstrukce je ve většině případů ocel, která bohužel ve styku s atmosférou v časovém horizontu degraduje. Tomuto negativnímu jevu lze zabránit aplikací protikorozní ochrany, nejčastěji organickými nátěrovými hmotami. Dále se využívají žárově zinkované povlaky nebo tzv. kombinované (duplexní) povlaky, tj. kombinace žárově zinkovaného povlaku ponorem a povlaku nátěrových hmot. Jakost povrchové úpravy záleží na několika základních faktorech. Především se jedná o samotnou předúpravu povrchu před aplikací nátěrové hmoty, vlastnosti použité nátěrové hmoty, kvalitu provedené práce, s čímž souvisí dodržení technologických a aplikačních podmínek dle výrobce nátěrové hmoty. Předúprava povrchu ocelových konstrukcí je realizována převážně otryskáváním, při kterém jsou z povrchu materiálu odstraněny případné nečistoty typu okují, rzi či další nečistoty. Po otryskávání je nutné provést v co nejkratším časovém intervalu aplikaci protikorozní ochrany, protože povrch je po otryskání reaktivní a v čase dochází ke vzniku oxidických vrstev.

Diplomová práce se zaměřuje na experimentální posouzení protikorozních vlastností nátěrových hmot REMOPLAST EP ZINK a REMOPLAST HS – KST FAST, které byly aplikovány na podkladový materiál otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2 1/2 dle normy ČSN EN ISO 8501-1.

1. KOROZNÍ PROSTŘEDÍ

2.1 Koroze kovů

V odborné literatuře existují různé definice vystihující pojem koroze. Nejlépe však tento proces degradace materiálu vystihuje definice od pana Ing. Bohuslava Drimla. „Koroze kovů je definována jako rozrušení kovů vlivem jejich elektrochemické nebo chemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat ve vodě a jiných kapalinách, v atmosféře nebo jiných plynech, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s kovem ve styku.“ [24]. Předností této definice je jednoduché znění, ze kterého jsou dobře patrní činitelé ovlivňující průběh koroze. Význam těchto činitelů je popsán v kapitole 1.5 druhy koroze.

Korozi nepodléhají jen kovy a její slitiny, ale také ostatní materiály, např. plastické hmoty, pryže, silikonové hmoty, atd.

2.2 Dělení korozního prostředí

Norma ČSN EN ISO 12944 „Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy“ popisuje vliv okolních podmínek na ocelové konstrukce, které jsou exponovány v běžné atmosféře, vodě nebo v půdě. Pro různé atmosférické podmínky je prezentován systém kategorií korozní agresivity. Všechna tato prostředí jsou významná s ohledem na volbu ochranných systémů. [8]

V tab. 1 je uvedeno rozdělení korozní agresivity do pěti stupňů, kde se pátý stupeň C5 dělí na další dva, tj. C5-I a C5-M.

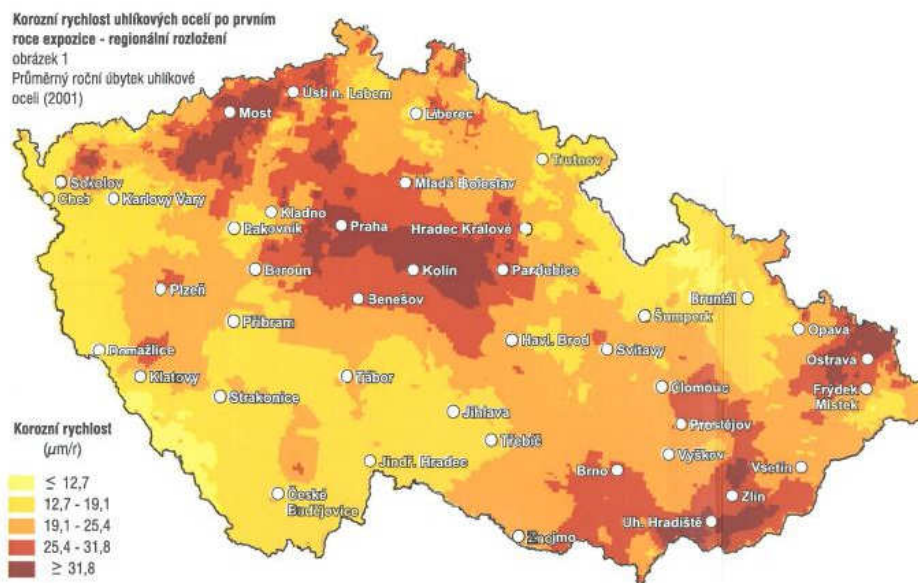
Tab. 1 - Dělení korozní agresivity dle normy ČSN EN ISO 12 994-2 [8]

Stupeň korozní agresivity	Příklady typických prostředí mírných klimatických pásem (pouze informativní)	
	Venkovní	Vnitřní
C1 velmi nízká	-	Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, apod.

Stupeň korozní agresivity	Příklady typických prostředí mírných klimatických pásem (pouze informativní)	
	Venkovní	Vnitřní
C2 nízká	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí.	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly.
C3 střední	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým, přímořské prostředí s nízkou salinitou.	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, popřípadě výroby potravin, pivovary, prádelny, mlékárny apod.
C4 vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou.	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží.
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou.	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší.
C5-M velmi vysoká (přímořská)	Přímořské prostředí s vysokou salinitou.	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší.

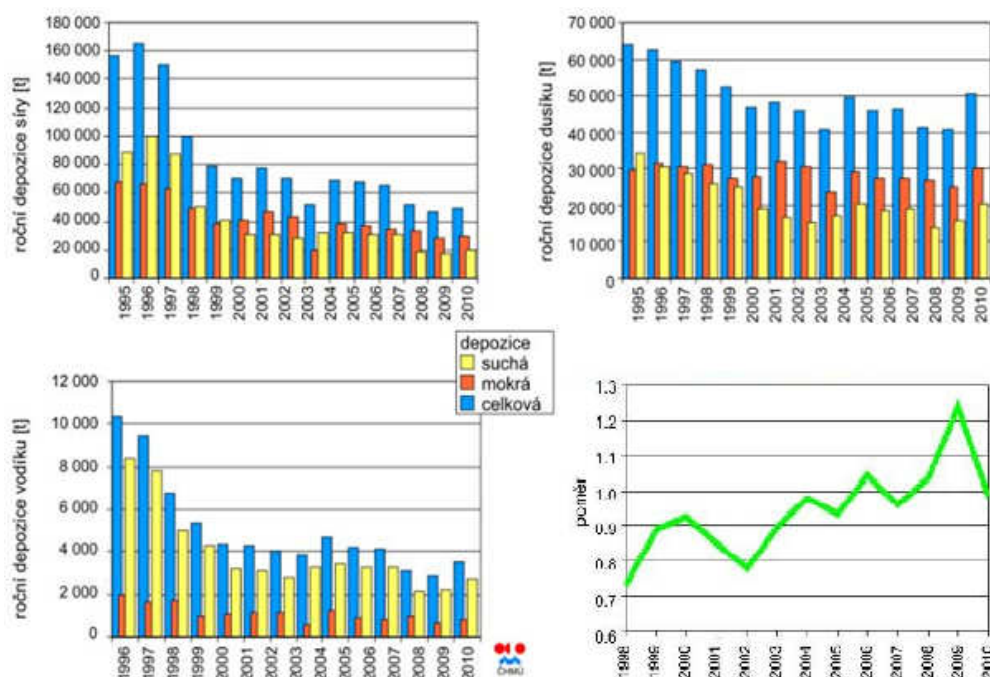
2.3 Vývoj korozního prostředí v ČR

Korozní agresivita prostředí je důležitou informací pro posouzení možného vývoje degradace kovových materiálů. V České republice se již několik let touto problematikou zabývá společnost SVÚOM, s. r. o., která na atmosférických stanicích exponuje vzorky ocelí, mědi, zinku, atd. Pro hodnocení je nutné na atmosférické stanice umístit vzorky materiálu na jednoroční expozici. Po expozici se z povrchu odstraní mechanicky nebo chemicky vzniklé oxidy, váhovou metodou se určí hmotnostní úbytek materiálu a stanoví se korozní agresivita prostředí.



Obr. 1 - Rozložení korozní rychlosti uhlíkové oceli na území ČR

Chemické složení atmosférických srážek a atmosférická depozice jsou sledovány na území České republiky dlouhodobě na měřicích stanicích ČHMÚ. Od roku 1995 do roku 2010 byly prováděny odběry s obsahem polétavého prachu. Výsledky pomocí daných výpočtů a zkoušek jsou uvedeny na obr. 2, kde jsou uvedeny celkové roční depozice za daný zkoumaný rok. [25] Z těchto grafů je patrná postupná klesající tendence škodlivých látek v ovzduší ČR.



Obr. 2 - Vývoj roční depozice síry, oxidovaných forem dusíku a vodíku na plochu ČR [25]

2.4 Korozní agresivita prostředí

Jedná se o intenzitu, jakou dané korozní prostředí působí na kovový materiál. Pro ocelové konstrukce vystavené atmosférickým vlivům je důležitá např. přítomnost nečistot, vlhkost atmosféry a u vodní koroze se jedná zejména o fyzikálně chemické vlastnosti. U půdní koroze je agresivita obtížněji definovaná, protože záleží na vlastnostech půdy a samozřejmě druhu exponovaného materiálu v půdě. Bližší vysvětlení zmíněných vlivů je uvedeno v kapitole 1.5.3.

2.5 Druhy koroze

Koroze lze rozdělit podle níže uvedených specifik.

Podle mechanismu korozních dějů:

- koroze elektrochemická,
- koroze chemická.

Podle vzhledu:

- koroze rovnoměrná,
- koroze nerovnoměrná.

Podle prostředí, kde probíhá:

- koroze v půdě,
- koroze atmosférická,
- koroze ve vodě. [24]

1.5.1 Dělení dle mechanismu korozních dějů

a) Koroze elektrochemická

Elektrochemická koroze probíhá v elektricky vodivém prostředí, např. v atmosféře, ve vodě, v roztocích kyselin, solí, atd.

Definuje se jako postupné rozrušování kovů, při kterém vzniká elektrický proud, který se mění na teplo. Základním předpokladem pro průběh elektrochemické koroze je přítomnost elektrolytu, tj. elektricky vodivého roztoku nebo taveniny. Lze je rozdělit na kovy ušlechtilé a kovy méně ušlechtilé. Ušlechtilé materiály v korozním prostředí na sebe vážou ionty méně ušlechtilých kovů. [24] V praxi to znamená, že pro přichycení

pozinkované střechy nelze použít měděné hřebíky, protože měď má vyšší potenciál a vlivem elektrochemické koroze by došlo k degradaci pozinkované střechy.

b) Koroze chemická

Jedná se o samovolnou vzájemnou interakci kovu s korozním prostředím, kde oxidace kovu a redukce oxidující složky prostředí postupují současně. Na rozdíl od elektrochemické koroze probíhá chemická koroze v elektricky nevodivých prostředích, neelektrolytech a plynech. Její základní příčinou je termodynamická nestálost kovů různých prostředí, spojená s přechodem kovu do stabilního stavu zplodin koroze.

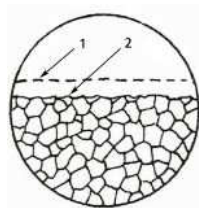
Chemická koroze vzniká při styku železa a jeho sloučenin s vodou a vzdušným kyslíkem. Částičky železa na povrchu napadeného materiálu reagují s vodou a slučují se za vzniku oxidů. Vytváří se hnědá porézní oxidická vrstva, odpadávající od základního materiálu v plátech. [1, 26]

1.5.2 Dělení podle vzhledu

Rovnoměrná koroze

Rovnoměrná koroze povrchu probíhá po celé ploše materiálu se stejnou intenzitou. Rychlost koroze lze stanovit z váhového úbytku daného materiálu za rok expozice v korozním prostředí s určitou korozní agresivitou. Tato informace vede k určení životnosti materiálu v případě napadení korozí. Při vytvoření souvislé korozní vrstvy dochází k omezení propustnosti iontů u elektrochemické koroze a molekul plynu při chemické korozi. Korozní vrstva je za běžných podmínek u technického železa porézní, snadno odpadá, a tak koroze materiálu dále postupuje, až dojde ke kompletní degradaci materiálu. [24]

Tato koroze probíhá rovnoměrně na celém napadeném povrchu materiálu. Tvar korozního napadení se může lišit díky nerovnosti povrchu materiálu a lze ji snadno předvídat, proto není tak nebezpečná jako jiné druhy korozí.



Obr. 3 - Rovnoměrná koroze, 1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení [27]

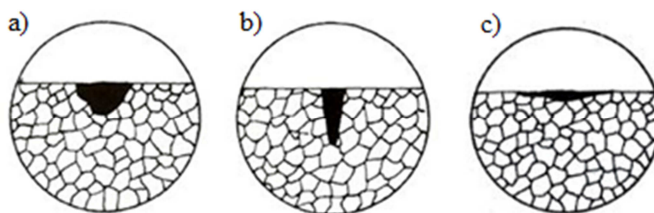
Nerovnoměrná koroze

Probíhá nestejnoměrnou rychlostí na různorodých místech napadeného materiálu, proniká do rozdílné šířky a hloubky. Některá místa na povrchu mohou zůstat bez napadení. Pokud zasahuje jen na některé části napadeného povrchu, jedná se o lokální korozi, která se dělí na:

Důlkovou – projevuje se u pasivních materiálů, zasahuje více do hloubky materiálu, má větší degradační účinek a působí značné škody. Hloubka napadení většinou odpovídá jeho šířce. U uhlíkových ocelí se vyskytuje zvláště pod nátěry.

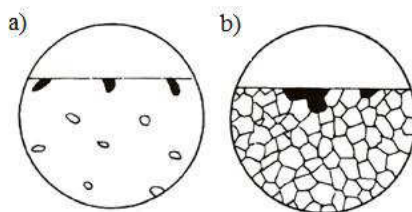
Bodovou – jedná se o velmi nebezpečný druh korozního napadení u materiálů, které jsou odolné proti rovnoměrné korozi. Vzniká především v roztocích obsahujících brom, chlor nebo jod a jejich soli, zejména halogenidy těžkých kovů nebo chlornany.

Skvrnitou – jedná se o nepravidelné mělké korozní napadení, kde může být rozměr větší než velikost zorného pole i při malém zvětšení. [2, 3]



Obr. 4 - a) Schéma důlkové koroze, b) Schéma bodové koroze, c) Schéma skvrnité koroze [27]

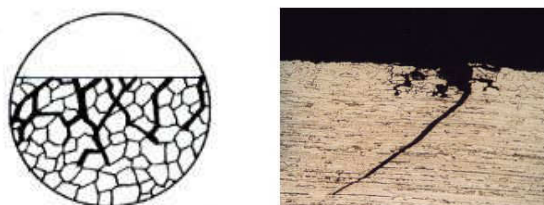
Selektivní koroze – vyskytuje se u slitin s vícefázovou strukturou, nebo v případě zaválcování okují. Projevuje se napadením jedné fáze nebo některých zrn jednofázové struktury. [27]



Obr. 5 - Schéma selektivní koroze

a) napadena jedna fáze vícefázové struktury, b) napadení jednotlivých zrn struktury [27]

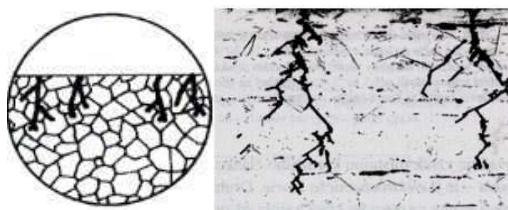
Mezikrystalová koroze – tento typ degradace materiálu vzniká v případě, že napadení hranic zrn je podstatně rychlejší než koroze vlastního zrna se současným poklesem mechanických vlastností. Vyznačuje se výskytem zkorodovaného pásma podél hranice zrn kovu. Materiál ztrácí pevnost a houževnatost, což může vést až k jeho úplnému rozkladu. Tento druh koroze je velmi nebezpečný, protože na povrchu kovu nemusí být viditelné žádné korozní napadení. [3, 27]



Obr. 6 - Mezikrystalová koroze

vlevo: Schéma koroze, vpravo: Mikrosnímek koroze [27]

Transkrystalová koroze – korozní trhlinky vznikají převážně vlivem vnitřního napětí a zároveň s působením agresivního prostředí. Transkrystalická degradace kovu se vyskytuje výjimečně a nejčastěji u austenitických ocelí. Projevuje se napadením rozhraní mezi zrny za současného praskání vlastních krystalů a probíhá napříč zrn. [2]



Obr. 7- Transkrystalová koroze

vlevo: Schéma koroze, vpravo: Mikrosnímek koroze [27]

1.5.3 Dělení podle prostředí

Koroze atmosférická

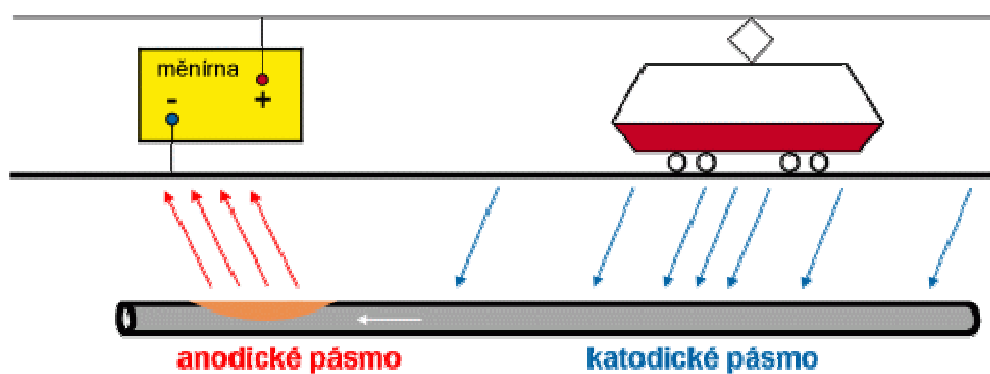
Atmosférická koroze se řadí k nejrozšířenějšímu typu degradace materiálu, protože převážná část kovových výrobků je exponována v atmosféře. Hlavním vlivem ovlivňujícím atmosférickou korozi jsou klimatické podmínky v dané lokalitě, vlhkost, teplota vzduchu a jeho znečištění.

Korozní děj probíhá pod tenkou vrstvou vody, která je nasycena rozpuštěnými složkami atmosféry, hlavně oxidem siřičitým (SO_2), oxidem uhelnatým (CO), amoniakem (NH_3), chlorovodíkem (HCl) a aerosoly. Tento vodní film o tloušťce 50 až 150 μm vzniká kondenzací vodních par obsažených ve vzduchu. Na povrchu, který je drsný a pokrytý nečistotami (prach, oleje, okuje, atd.), se vytváří vodní film při nízké hodnotě relativní vlhkosti, cca 60 %. Tato hodnota se označuje jako kritická relativní vlhkost. [24]

Půdní koroze

Půdní koroze patří mezi zvláštní korozní prostředí se specifickou degradací materiálu v roztocích elektrolytu, neboť půda je tvořena fází tuhou, kapalnou i plynou. Z korozního hlediska má hlavní význam kapalná fáze, reprezentovaná vodným roztokem elektrolytu s rozdílným množstvím rozpuštěných plynů. Plynou fází půdní struktury tvoří kyslík (10 – 20 %), dusík (70 – 80 %) a CO_2 (0,1 – 10 %). [27]

Bludné proudy – ložiska kovových rud, které pozvolna v zemi oxidují, vytvářejí slabé galvanické články, protože v půdě vznikají slabé elektrické proudy, jejichž šíření nedosahuje více než několika stovek metrů. Významnější elektrické proudění vzniká indukčními jevy v zemském magnetickém poli a také uměle vzniklými zemními proudovými poli. Tato pole zapříčiňují bludné proudy, které se do země dostávají vlivem nedostatečně izolovaných elektrických vodičů nebo zařízení. Jedná se o elektrochemickou korozi způsobenou vnějším zdrojem proudu. Korozivní rozpad vzniká např. u kabelů nebo potrubí uložených v blízkosti elektrifikované tratě. V případě špatně spojených kolejnic se část proudu vrací půdou (elektrolytem) a kovovými předměty v ní uloženými. Korozí jsou napadány především předměty, které jsou v anodové oblasti korozního prostředí. [29]



Obr. 8 - půdní koroze, ukázka bludných proudů [28]

Koroze ve vodě

Koroze ve vodách se řadí k vysoce agresivním korozním prostředím. Agresivitu vod ovlivňuje tvrdost vody, která je závislá na hodnotě pH, na množství plynů rozpuštěných ve vodě (hlavně kyslíku), na teplotě a proudění vody.

V provozních kapalinách se při strojní výrobě používají různé rozpuštěné chemické látky, které mohou být zásaditého nebo kyselého charakteru. Koroze kovů ve vodách je elektrochemický děj, jehož rychlost ovlivňuje řada neelektrochemických činitelů, které se mohou projevovat rovněž samostatně. Jsou to chemické děje v roztocích, vliv mechanických nečistot, vliv mikroorganismů, apod. [27, 28]

Významný vliv u tohoto korozního prostředí má kyslík, proto je důležité zamezit přístupu kyslíku ve vodách, nebo ho odstranit chemickou úpravou.

2. PROTIKOROZNÍ OCHRANA PODKLADOVÝCH MATERIÁLŮ NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY

Hlavní prioritou protikorozní ochrany podkladových materiálů nátěrovými systémy je prodloužení životnosti konstrukcí exponovaných ve vodě, v atmosféře a v půdě. Nátěrový systém lze definovat jako souvislý povlak požadovaných vlastností, který dosahuje svých ochranných vlastností až po době vytvrzení.

Nechráněná ocel nebo ocelová konstrukce ve vodě, atmosféře nebo při uložení v zemi koroduje, což může vést ke ztrátám. Aby byla poškození korozí vyloučena, jsou ocelové konstrukce po dobu jejich požadované životnosti chráněny, a to pomocí nátěrových systémů.

2.1 Typy nátěrových systémů na trhu v ČR a jejich vlastnosti

2.1.1 Typy nátěrových hmot

Reverzibilní nátěry

Povlak na nanášeném materiálu vzniká odpařováním rozpouštědla bez jakékoliv další změny. To znamená, že proces je vratný a povlak lze kdykoliv znovu rozpustit původním rozpouštědlem. U tohoto nátěrového systému jsou například tato pojiva:

- chlorkaučuk (CR),
- akrylátové polymery (AY),
- kopolymery vinylchloridu (známé také jako PVC).

Doba zasychání nátěrové hmoty je závislá na proudění vzduchu a na teplotě. Zasychání může probíhat při nízkých teplotách, až 0 °C, přestože s klesající teplotou se doba zasychání prodlužuje. [10]

Ireverzibilní nátěry

Nanášený povlak nejdříve vznikne odpařováním tam, kde je rozpouštědlo obsaženo. Poté následuje chemická reakce nebo koalescence, a to u některých, vodou ředitelných nátěrových hmot. Ireverzibilní nátěry jsou nevratné. To znamená, že povlak se již nedá rozpustit v původním rozpouštědle. [10]

Na vzduchu zasychající nátěrové hmoty (oxidačně vytvrzované)

Povlaky se tvoří odpařováním s následnou reakcí pojiva se vzdušným kyslíkem. Typickými pojivy jsou:

- alkydy,
- urethanalkydy,
- epoxiestery.

Doba zasychání nezávisí jen na teplotě, ale také na reakci s kyslíkem, která může probíhat při 0 °C, přestože doba zasychání se zpomalí. [10]

Vodou ředitelné nátěrové hmoty (jednosložkové)

V tomto typu je pojivo dispergováno ve vodě. Povlak se tvoří odpařováním vody a koalescencí dispergovaného pojiva za tvorby filmu. Tento proces je nevratný, protože po vysušení nelze tento typ povlaku ve vodě znovu dispergovat. Typickými pojivy dispergovanými ve vodě jsou:

- akrylátové polymery (AY),
- vinylové polymery (PVC),
- polyurethanové pryskyřice (PUR).

Doba zasychání závisí nejen na teplotě, proudění vzduchu, ale i na relativní vzdušné vlhkosti. U zasychání může být vlhkost až 80 %, ale zpomaluje se rychlost zasychání. [10]

Chemicky vytvrzované nátěrové hmoty

Tento typ nátěrové hmoty se skládá ze základní složky a vytvrzovacího činidla. Směs vytvrzovacího činidla a základní složky má omezenou dobu zpracovatelnosti. Povlak zasychá odpařováním rozpouštědel, pokud jsou obsaženy, a vytvrzuje se chemickou reakcí mezi základní složkou a vytvrzovacím činidlem. [10]

Dvousložkové epoxidové nátěrové hmoty

Základní složka - pojivem jsou polymery s epoxidovými skupinami, které reagují s vhodnými vytvrzovacími činidly.

Typickými pojivy jsou:

- epoxidy,
- vinylepoxidy/epoxyakryláty,
- kombinace epoxidů.

Epoxidové povlaky po vystavení slunečnímu záření většinou křídují. Pokud chceme docílit požadovaného lesku barvy, měl by být vrchním povlakem alifatický polyuretan, vhodný typ fyzikálně zasychající nebo vodou ředitelné nátěrové hmoty. [10]

Vytvrzovací činidlo - převážně se používají polyamidy nebo jejich sloučeniny. Tyto polyamidy jsou velmi vhodné pro základní nátěrové hmoty. Polyamidové povlaky mají obecně lepší odolnost vůči chemikáliím. Doba zasychání závisí na proudění vzduchu a na teplotě. Vytvrzovací reakce může probíhat při teplotě + 5 °C, u speciálních výrobků i při nižších teplotách. [10]

Dvousložkové polyurethanové nátěrové hmoty

Základní složka - polymery jsou pojiva s volnými hydroxylovými skupinami, které reagují s vhodnými izokyanátovými vytvrzovacími činidly. Typickými pojivy jsou:

- polyestery,
- akryláty,
- epoxidy,
- polymery,
- fluorované pryskyřice,
- kombinace polyurethanových pryskyřic (PURC). [10]

Vytvrzovací činidlo - převážně se používají aromatické nebo alifatické polyizokyanáty. Výrobky, vytvrzené pomocí alifatických polyizokyanátů (PUR alifatické) se základní složkou, mají vynikající vlastnosti, jako je stálost lesku a barevného odstínu. Výrobky vytvrzené pomocí aromatických polyizokyanátů (PUR aromatické) se vytvrzují

rychleji, ale jsou mnohem méně vhodné pro expozici venkovním podmínkám, protože mají sklon k mnohem rychlejšímu křídování a změně barevného odstínu.

Čas zasychání závisí na proudění vzduchu a na teplotě. Vytvrzovací reakce může probíhat i při teplotě 0 °C nebo nižší, ale relativní vlhkost vzduchu by se měla udržovat v rozmezí doporučeném výrobcem nátěrových hmot, jinak se mohou tvořit bubliny nebo póry. [10]

Nátěrové hmoty vytvrzované vlhkostí

Nanášený povlak se tvoří odpařováním rozpouštědla a vytvrzuje se chemickou reakcí se vzdušnou vlhkostí. Typickými pojivy jsou:

- polyurethany (jednosložkové),
- ethylsilikáty (dvousložkové),
- ethylsilikáty (jednosložkové).

Doba zasychání závisí na proudění vzduchu, na relativní vlhkosti, jeho teplotě a na tloušťce povlaku. Vytvrzování může probíhat při nízkých teplotách dosahujících 0 °C, nebo i nižší, ale za předpokladu, že vzduch obsahuje dostatečné množství vlhkosti. Při nižší vlhkosti je vytvrzování pomalejší. Velmi důležité je dodržování pokynů výrobce nátěrových hmot, týkajících se rozmezí relativní vlhkosti vzduchu a tloušťky mokrého a suchého povlaku, protože mohou vznikat bubliny, póry nebo jiné vady v povlaku. [10]

2.1.2 Typy nátěrových systémů

Akrylátové – jedná se o nátěrovou hmotu obsahující akrylátové polymery, které se vyrábějí polymerací esterů kyseliny akrylové a methakrylové. Tyto akrylátové nátěrové hmoty mohou být ředěny vodou nebo organickými rozpouštědly. Nátěrové hmoty, které jsou ředěné rozpouštědly, lépe odolávají povětrnostním vlivům a disperzní jsou zase pružnější. [35]

Alkydové – základní složkou jsou alkydové pryskyřice neboli modifikované polymery kyselin a alkoholů. Tyto alkydové nátěrové hmoty tvrdnou chemickou reakcí prostřednictvím látek urychlujících vysychání. Jsou velice odolné, nahrazují dnes čím dál více olejové barvy. [35]

Asfaltové – jde o ropný produkt, který slouží k penetraci kovů, cihel nebo betonů. Dodává se ve třech modifikacích:

1. Jako penetrační lak obsahující organická rozpouštědla, která umožňují pronikání laku do pórů v podkladu a která se poté odpaří a hmota pevně přilne. Tato rozpouštědla jsou velice toxická, proto laky nelze používat v uzavřených místnostech.
2. Jako emulze nebo suspenze, které nepronikají do podkladu, nýbrž zůstávají navrchu. Výhodou je jejich ředění, protože se používají takové přísady, které při usychání vypařují pouze vodní páru.
3. Horký asfalt pokládaný v horkém stavu (dnes se využívá jen výjimečně).

Asfaltové hmoty neodolávají povětrnostním vlivům, proto potřebují další izolační vrstvy, a nefungují ani jako hydroizolace. [35]

Disperzní – nátěrové disperzní hmoty lze zjednodušeně vysvětlit jako rozptýl nejmeně dvou látek, z nichž jedna je rozptýlená v druhé. Konkrétně jde o polymer, který je rozptýlený ve vodě, a to za účasti dalších látek. Princip vytvoření filmu je založen na odpařování vody, proto se výrazem disperzní obvykle obecně označují všechny nátěrové hmoty, které jsou ředitelné vodou. [35]

Epoxidové – obsahují především epoxidové pryskyřice a nejčastěji je známe jako dvousložkové laky nebo tmely. Aby se dosáhlo tvrdého efektu, potřebují další látku tužidlo nebo tvrdidlo. Právě tyto látky jsou toxické, samotné epoxidové barvy ne. Epoxidové pryskyřice však mají různou podobu a mohou v oblasti barev posloužit k výrobě různých hmot, např. práškových nátěrových hmot, pojiv, rozpouštědel, zmíněných dvousložkových nátěrových hmot, vypalovacích laků, penetrací či vodou ředitelných barev a laků. [35]

Polyuretanové – pokud je u barvy, laku, emailu či jiné nátěrové hmoty přívlastek polyuretanová, znamená to, že obsahuje plasty neboli polymery. Tyto polymerové nátěrové systémy díky svému specifickému uskupení molekul dodávají hmotám zajímavé vlastnosti. Především velmi vysokou odolnost ke všem vnějším vlivům, proto se také tyto nátěrové hmoty používají na střechy a velmi namáhané železné konstrukce. [35]

Práškové – velmi se podobají prášku, protože neobsahují žádná rozpouštědla či kapaliny, nýbrž jsou směsí syntetických pryskyřic, plniv, pigmentů a dalších přísad. Na materiál se nanášejí souvislým stříkáním, zpravidla v jedné vrstvě, a poté se vypalují při teplotách kolem 200 °C. Výsledkem jsou matné, lesklé nebo strukturované povrchy. [35]

2.1.3 Rozdělení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty díky svým specifickým vlastnostem lze rozdělit podle různých parametrů. V tab. 2 je uvedeno dělení podle nejdůležitějších kritérií.

Tab. 2 - Dělení nátěrových hmot [1]

Kritérium	Rozdělení
<i>Podle druhu aplikace:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aplikace stříkáním, ▪ aplikace štětcem, ▪ aplikace stěrkou, ▪ elektroforéza, ▪ máčení, ▪ polévání.
<i>Podle obsahu pigmentů:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pigmentované (obsahují antikorozi plniva a pigmenty), ▪ transparentní (obsahují pojiva nebo jejich roztoky).
<i>Podle filmotvorné složky:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ asfaltové, ▪ polyesterové, ▪ celulóзовé, ▪ chlorkaučukové, ▪ olejové, ▪ silikonové, ▪ lihové, ▪ syntetické, ▪ polyuretanové, ▪ emulzní (na vodní bázi).
<i>Podle teploty zasychání:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ na vzduchu (20 °C), ▪ vypalovací (100 °C a více).
<i>Podle pořadí aplikace jednotlivých vrstev:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ napouštěcí, ▪ základní, ▪ vyrovnávací, ▪ podkladové, ▪ vrchní.
<i>Podle způsobu zasychání a vytvrzování:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ na vzduchu schnoucí, ▪ vhodné k přisoušení, ▪ vypalovací, ▪ vytvrzované zářením, ▪ tavné.
<i>Podle klimatické odolnosti:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vnitřní, ▪ vnější, ▪ vnitřní i vnější.

2.2 Složení nátěrových systémů

Nátěr je souvislý povlak požadovaných vlastností, vzniklý nanesením a zaschnutím jedné nebo více nátěrových vrstev na dané konstrukci či výrobku. Podle počtu těchto vrstev rozeznáváme jednovrstvé a vícevrstvé nátěry. Nátěrová hmota je organická filmotvorná látka aplikovaná na podkladový materiál v tekutém až těstovinovém stavu nanášecí technikou tak, aby došlo k vytvoření jednolitého nátěrového filmu s předepsanými vlastnostmi. [24]

2.2.1 Složení nátěrových hmot

Filmotvorné složky (pojiva) – převážně se jedná o netěkavé organické látky, které po zaschnutí vytvářejí souvislý film schopný vázat dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. K dosažení požadovaných vlastností nátěrů se využívají různé kombinace filmotvorných látek. Mezi tyto látky patří umělé a přírodní živice (kalafuna, alkydy, ...), vysychavé oleje, např. konopný, dále deriváty ceulózy a kaučuku, v neposlední řadě asfalty (bitumeny, smoly, ...). Pojiva mají zásadní vliv na některé vlastnosti nátěrového filmu, jako je propustnost, lesk, přilnavost, tvrdost a chemická odolnost. [1]

Těkavé složky (rozpouštědla) – jsou určeny k rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a k úpravě viskozity (konzistence). Těkavé látky se po aplikaci na podkladový materiál uvolňují do okolního prostředí, protože v případě nedifundování z nátěrového systému dojde k negativnímu ovlivnění korozní odolnosti povlaku. Mezi nejčastěji používaná rozpouštědla patří benzíny, ketony, alkoholy, terpentýnové silice a další. [1]

Pigmenty – jsou částice, které mění barvu odráženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla. Dávají nátěrům barevný odstín, tvrdost a výrazně snižují stárnutí nátěrů. Pigmenty zvyšují i tepelnou a korozní odolnost. Existují pigmenty organické i anorganické, v obou skupinách mohou být přírodní a uměle vyrobené. Často

se jedná o velmi jemnozrnné látky s velikostí částic od 0,2 do 10 μ m. Pigmenty se dělí do tří skupin: [1]

- inhibitorové pigmenty (zinková žluť, zinkový prach, ...),
- neutrální pigmenty (zinková běloba, slída, ...),
- stimulující pigmenty (grafit, saze).

Plnidla – jedná se o rozemleté jemné minerální látky (těživec, křída, mastek), které jsou nerozpustné v pojivech. Plnidla příznivě upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku, např. zabraňují smršťování filmu po zaschnutí apod. [1]

Aditiva – jedná se o různá sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla a jiné přísady do nátěrových hmot, které obsahují vysychavé oleje. Užívají se při výrobě fermeží, olejových a alkydových nátěrových hmot. Základní složkou jsou tzv. kovová mýdla (naftenáty, rezináty, ...) nebo jejich roztoky v organickém rozpouštědle. [1]

2.3 Ekologické požadavky na nátěrové hmoty

Těkavé organické látky (VOC –Volatile Organic Compounds) se v některých případech vyjadřují obsahem organického uhlíku s označením TOC – Total Organic Carbon. Například 1kg etanolu (líh, špiritus či etylalkohol) obsahuje 0,522 kg organického uhlíku.

Těkavé organické látky zapříčiňují vznik přízemního ozonu, který poškozuje vegetaci i lidské zdraví. Některé složky VOC ohrožují ochrannou vrstvu stratosférického ozonu a podporují vytváření skleníkového efektu.

Negativní účinek je závislý na délce vystavení působení škodlivých látek. VOC dráždí sliznici, oči, dýchací a zažívací ústrojí a je znám také jejich narkotický účinek, vedoucí až ke křečím. Celá řada VOC obsahuje toxické, karcinogenní a teratogenní látky. Je to široká škála škodlivin a pro jednotlivé výrobky je škodlivost různá. [33]

2.3.1 Základní pojmy

Těkavá organická látka (VOC) - je jakákoli organická směs nebo sloučenina, s výjimkou methanu, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálním atmosférickém tlaku 101,3 KPa.

Těkavé látky se dělí:

- těkavé organické látky, které jsou klasifikovány jako látky karcinogenní, mutagenní a toxické pro reprodukci a jimž jsou přiřazeny standardní věty o nebezpečnosti s výjimkou benzinu,
- halogenované těkavé organické látky, jimž jsou přiřazeny věty označující specifickou rizikovost,
- benzin a těkavé organické látky, které nespádají do předešlých kategorií. [33]

Organická rozpouštědla – všechny těkavé organické látky, které jsou používány samostatně či ve směsi s jinými látkami, a to aniž by přitom prošly chemickou změnou, k rozpouštění surovin, produktů nebo odpadů. Tato rozpouštědla lze použít jako čisticí prostředky k rozpouštění nečistot nebo jako odmašťovací prostředek či prostředek používaný k úpravě viskozity.[33]

Nátěrová hmota – veškeré směsi včetně transparentních laků a všech organických rozpouštědel nebo směsí obsahujících organická rozpouštědla nezbytných pro její správné použití. K vytváření filmu s dekorativním ochranným nebo jiným funkčním účinkem na povrchu.[33]

2.3.2 Činnost při vzniku emise VOC

Odmašťování a čištění povrchů

I u jednorázového čištění, které je z důvodů nadměrných povrchů odmašťovaných předmětů prováděn mimo prostory odmašťoven a lakoven, nebo natírání na vnitřních a venkovních plochách (budovy, konstrukce, stožáry), pokud je spotřeba organických rozpouštědel větší než 0,1 tuna, jsou malým zdrojem. (Podmínky provozu: omezovat emise VOC použitím nátěrových hmot se sníženým obsahem, nátěrové hmoty jsou nanášeny

válečkováním nebo štětcem, při použití metody stříkáním je třeba omezit přestříky použitím vhodné technologie nástřiku s přenosovou účinností větší než 50%.) [33]

2.3.3 Bezpečnost práce

- Odvětrání hořlavých, vznětlivých a nebezpečných výparů
- Ochrana dýchacích cest pracovníků - masky, filtry, uzavřené dýchací okruhy
- Ochranné pracovní prostředky - rukavice pro uhlíkové produkty, obličejové štíty
- Nehořlavé a antistatické vybavení při aplikacích

2.3.4 Právní úprava

Těkavé látky VOC a jejich problematiku upravují právní normy, které vstoupily v platnost roku 2002, a to zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a v roce 2010 vyhláška č. 337/2010 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozu ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících a užívajících těkavé organické látky a o způsobu nakládání s výrobky obsahujícími těkavé organické látky - účinnost od prosince 2010, novelizována vyhláška č. 257/2011. [33] Tyto právní normy se zasluhují o snižování škodlivin v ovzduší. Vyhláška č. 337/2010 Sb., rovněž upřesňuje podmínky provozování a předepisuje způsob nakládání s výrobky obsahujícími těkavé organické látky, včetně značení výrobků při jejich uvedení na trh. [38]

3. PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

Předúpravy povrchu jsou nedílnou součástí technologického postupu realizace protikoroze ochrany nátěrovými systémy. Z povrchu materiálu se odstraňují nečistoty chemicky, které jsou fyzikálně vázané k povrchu. Kvalita provedení ovlivňuje výsledné vlastnosti nátěrových systémů, především vzhled, odolnost vůči koroznímu prostředí a hlavně celkovou životnost.

Diplomová práce se zaměřuje na protikorozi ochranu ocelových konstrukcí, které se před aplikací nátěrových systémů mechanicky předupravují, především otryskáváním, broušením a kartáčováním. Mechanickými předúpravami povrchu se odstraňují zejména okraje, rez a zlepšuje se celková morfologie povrchu. Zároveň jsou kladně ovlivněny mechanické vlastnosti povrchu, především pevnost a mez únavy. [1]

3.1 Otryskávání

Otryskáváním dochází k úběru materiálu pomocí tryskacího média, které je velkou rychlostí vrháno proti povrchu materiálu. Výsledkem technologické operace je charakteristická morfologie povrchu, kterou ovlivňuje rychlost dopadajících zrn, úhel dopadu, jakost podkladového materiálu, tvrdost a tvar tryskacího materiálu.

Technologie otryskávání je využívána nejen pro očištění povrchu, ale také k vytvoření kotvícího profilu před nanášením nátěrového systému nebo pro zlepšení vzhledu. Při otryskávání působí zrna na povrch součásti a způsobují plastickou deformaci. Této plastické deformace je často využíváno, jelikož deformace má za následek zpevňování povrchových vrstev materiálu. Velkým vlivem na vlastnosti a vzhled povrchu má tvar tryskacího média. Tvrdá ostrá zrna povrch čistí, ale na druhou stranu i odstraňují částice kovu. Kulatá zrna povrch čistí a zároveň zpevňují, ovšem při špatném očištění se nečistoty dostávají do povrchových vrstev. Měkká zrna se na povrchu tříští a tím povrch leští. [1]

Stupně otryskávaného povrchu:

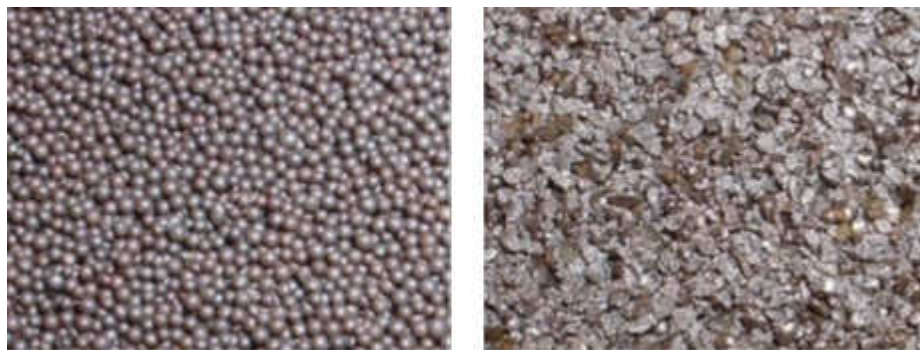
Kvalita otryskaného povrchu je hodnocena 4 stupni:

Tab. 3 - Hodnocení kvality tryskaného povrchu [13]

Stupně	Kvalita tryskaného povrchu
Sa 1	Lehké otryskání povrchu (na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot a nečistot, stejně jako nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky).
Sa 2	Důkladné otryskání povrchu (na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot a téměř žádné okuje, rez, nátěry a cizí látky, všechny zbytky nečistot jsou pevně přilnavé).
Sa 2 ½	Velmi důkladné otryskání povrchu (není zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků nátěrů a cizích látek, všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů).
Sa 3	Vizuálně čistý ocelový povrch (není zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků nátěrů a cizích látek, povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled).

Významnou úlohou při samotném otryskávání je volba vhodného otryskávacího prostředku. Otryskávací materiál je volen dle druhu upravovaného povrchu, stupně znečištění, dle tloušťky stěn předmětu atd. Jako otryskávací materiál se nejvíce používá: [1]

Litinová drť a broky – jedná se o dražší, ale o 60krát trvanlivější materiál než křemičitý písek. Vyrábí se granulací litiny, má dobrou úběrovou schopnost, je hospodárnější a hygieničtější, používá se do tlaku 0,7 MPa. Nedoporučuje se pro otryskávání nerezavějících ocelí a barevných kovů.



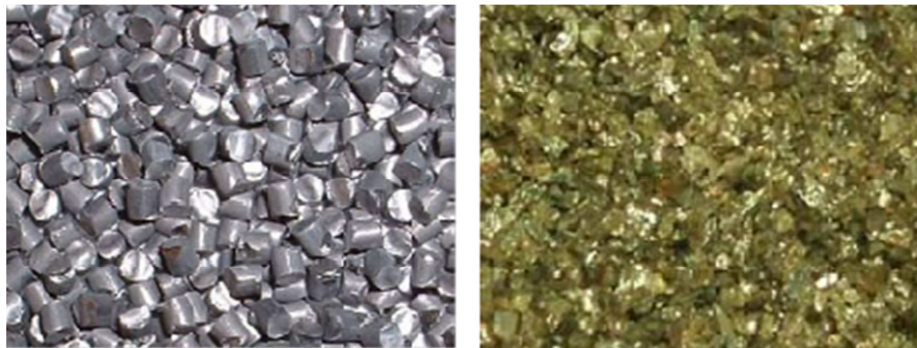
Obr. 9 - Příklad otryskávacího média,
vlevo: Litinový granulát, vpravo: Litinová drť [31]

Sekaný drát – nejpevnější, vhodný pro metací kola nebo mechanizované linky. Patentovaný drát 160 MPa je 5x dražší než litinová drť a méně opotřebovává metací kola.

Umělé a speciální materiály – např. drť z pecek a plastických hmot, skleněné kuličky tzv. balotina – (umožňuje vyhlazování, snížení drsnosti, povrch je důlkový a méně náchylný na korozi)

Křemičitý písek – křemičitý písek má ostrohranná zrna a využívá se výhradně pro pneumatické otryskávání do tlaku 0,3 MPa. Při vyšších tryskacích tlacích se křemičitý písek nadměrně tříští a práší. Pracovník musí být dobře chráněn, aby nedošlo ke vdechnutí prachu, protože prach se usazuje na plicích a zapříčiňuje vznik silikózy. Křemičitý písek byl pro negativní vliv na lidský organismus zakázán (resp. se používá pouze ve speciálních případech)

Brusiva – karbid křemíku, korund - ostřejší zrno, stejnoměrnější a trvanlivější než křemičitý písek



Obr. 10 - Příklad otryskávacího média,
vlevo: Sekaný drát[31], vpravo: Korund hnědý[32]

Zařízení pro otryskávání:

Pneumatické tryskače – využívají energii stlačeného vzduchu. Jsou buď tlakové, nebo injektorové.

Metací kola – využívají mechanické energie při rotaci kola.

3.1.1 Technologie suchého otryskávání

Odstředivé otryskávání

Odstředivé otryskávání se provádí v uzavřených zařízeních, ve kterém je otryskávací prostředek vysokou rychlostí vrhán směrem k čištěnému povrchu. Metoda je vhodná pro díly s přístupnými povrchy, jako jsou plechy, odlitky nebo válcované výrobky.

Tato metoda je schopna zajistit stupeň kvality tryskaného povrchu až na Sa 3. Většina odstředivých tryskacích zařízení je stacionární a otryskávací prostředek cirkuluje v uzavřeném systému. V některých případech může být zařízení mobilní, a tudíž vhodné pro čištění rozlehlých nepřerušovaných povrchů, např. trupy lodí, skladovací tanky na naftu apod. [12]

Použití – Zařízení pro abrazivní odstředivé otryskávání. Tato metoda je používána pro opakované operace vázané na velký objem průchodu, nebo na kontinuální produkci. U odstředivého otryskávání není možné úplně odstranit chemickou kontaminaci ocelového povrchu. Pokud je požadováno kompletní očištění dané konstrukce, je nutná přídatná operace. [12]

Otryskávání pomocí stlačeného vzduchu

Spočívá ve smísení otryskávacího média s proudem vzduchu. K povrchu je tryskána směs vzduchu s otryskávacím prostředkem vysokou rychlostí. Médium může být do proudu vzduchu dodáváno z tlakového zásobníku nebo může být dávkováno do proudu vzduchu nasáváním z beztlakého zásobníku.

Touto metodou lze čistit dílce, a to včetně velkých konstrukcí všech typů. Otryskávání pomocí stlačeného vzduchu může být používáno kontinuálně i přerušovaně. Pokud není vhodná metoda odstředivého otryskávání, využívá se této. Tento způsob čištění může být použit v provozech, kabinách, uzavřených prostorech i na volném prostranství. [12]

Použití – otryskávání pomocí stlačeného vzduchu je mnohostranně použitelné. Umožňuje dosáhnout stupně přípravy povrchu Sa 3. U této metody dochází ke vniku prachu, a tudíž může být použití vyloučeno tam, kde není možno zjistit dovolenou úroveň znečištění. Obecně vzato není možné úplné odstranění chemické kontaminace z ocelového povrchu otryskáváním. Jestliže je vyžadováno celé očištění, je nutná přídatná operace

jako u odstředivého otryskávání. [12] Tryskání můžeme provádět kovovými prostředky, a to ocelovou drtí, sekaným drátem, broky, pomocí měděné či uhelné strusky, korundem, balotinou či jinými prostředky, v závislosti na požadovaném stupni přípravy povrchu, tvaru a tloušťce materiálu otryskávaného výrobku, stacionárním nebo mobilním zařízením. [34]

Vakuové nebo odsávací otryskávání

Je to velmi podobné metodě otryskávání pomocí stlačeného vzduchu. S pracovní tryskou je v hlavě uzavřeno také odsávací obložení, které sbírá použité otryskávací nečistoty a médium. Proud vzduchu s otryskávacím prostředkem může být odsáván z povrchu při sníženém tlaku. Tato metoda je nejvíce vhodná pro místní čištění nečistot, je čistá, s malou produkcí prachu do okolního prostředí. Lze jí dosáhnout stupně čistoty Sa 2 1/2. Při dostatečném časovém intervalu lze dosáhnout i stupně Sa 3. [12]

Použití – jedná se o časově náročnější operaci než ostatní. Je nevhodná pro čištění silně zkorodovaných povrchů a nepoužitelná pro nestejněměrné tvary povrchů. U této operace není možné zcela odstranit chemické kontaminace ocelového povrchu. Jestliže je požadováno kompletní očištění, je nutná přídatná operace. [12]

Vlhké otryskávání

Tato metoda je velmi podobná abrazivnímu otryskávání stlačeným vzduchem s přidáním velmi malého množství kapaliny, nejčastěji čisté vody. Přidává se do proudu vzduchu s abrazivem před tryskou, což umožňuje, že proces je neprašný. Voda může být regulována, a tudíž spotřeba vody se pohybuje od 15 do maximálně 25 litrů za hodinu. U vlhkého otryskávání lze dosáhnout stupně přípravy povrchu Sa 3. [12]

Použití – tato metoda je vhodná pro čištění velkých konstrukcí všech typů. Je také využitelná pro dílce s různým stupněm zarezavění, neboť regulovaným přídavkem kapaliny může být regulována intenzita množství vznikajícího prachu. Využívá se tam, kde je možnost rozptýlu většího množství prachu a vody do okolí. Kapalina, která váže prach, je regulována takovým způsobem, aby kapky kapaliny odcházely z trysky pouze ve výjimečném případě. To znamená, že částice abraziva jsou obaleny extrémně tenkým povlakem kapaliny tak, že když dojde k roztříštění částice, zabrání jeho přítomnost k tvorbě prachu v okolí upravovaného povrchu. [12]

3.1.2 Technologie mokrého otryskávání

Při mokrém otryskávání se pracovník nebo technolog musí nejprve zaměřit a vybrat stupeň přípravy otryskání, které jsou v tabulce 4 – popis vzhledu povrchu. Po vykonaném očištění vodou s daným tryskacím materiálem se může stát, že nastane blesková koroze, která se dělí do tří stupňů, které jsou uvedeny v tabulce 5 – popis vzhledu povrchu bleskové koroze.

Stupně přípravy

Jsou specifikovány tři stupně přípravy, označené Wa 1, Wa 2 a Wa 2 ½, popisující stupně čistoty. Definovány jsou slovním popisem vzhledu povrchu po očištění. Popis vzhledu povrchu je uveden v tabulce 4 – popis vzhledu povrchu. [10]

Tab. 4 - popis vzhledu povrchu [10]

Stupeň	Popis stupňů přípravy
Wa 1	<u>Lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku</u> Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnot, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, rzi a ostatních cizích látek.
Wa 2	<u>Důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</u> Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje, mastnot a nečistot, většiny rzi, nátěrů a ostatních cizích látek.
Wa 2 ½	<u>Velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</u> Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnot, nečistot, předchozích nátěrů.

Stupně bleskové koroze

Dle normy jsou specifikovány tři stupně bleskové koroze a to L, M a H. Definovány jsou slovním popisem vzhledu povrchu ocelové plochy před aplikací nátěrové hmoty. [10]

Tab. 5 - popis vzhledu povrchu bleskové koroze [10]

Stupně	Blesková koroze
L	<p><u>Lehký stupeň bleskové koroze</u></p> <p>Při prohlídce bez bližšího zvětšení se na povrchu vyskytuje žlutohnědá rez v malém množství. Přes tuto rez lze vidět otryskávaný podklad. Koroze může být rozložena rovnoměrně nebo ve formě skvrn. Je přilnavá a těžko odstranitelná jemným otíráním tkaninou.</p>
M	<p><u>Střední stupeň bleskové koroze</u></p> <p>Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakrývá původní ocelový povrch. Vrstva rzi je rovnoměrně rozložená nebo se může vyskytovat ve formě skvrn. Tato rez je přilnavá a lehce ulpívá na tkanině.</p>
H	<p><u>Vysoký stupeň bleskové koroze</u></p> <p>Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutočervené/hnědé rzi. Tato rez zakryje původní ocelový povrch a je nepřilnavá. Rez může být rovnoměrná nebo ve formě skvrn. Snadno ulpívá na tkanině, kterou se bude povrch jemně otírat.</p>

Mokrý otryskávání stlačeným vzduchem

Tato metoda je podobná otryskávání pomocí stlačeného vzduchu, ale s přidáním kapaliny, a to obvykle čisté vody, před průchodem nebo po průchodu tryskou, která produkuje proud stlačeného vzduchu, vody a abraziva. Vhodný inhibitor koroze bývá přidáván do vody. Metoda je vhodná k čištění rozsáhlých konstrukcí všech typů. Využívá se pro čištění povrchů, zejména pro důlkovitou a chemicky kontaminovanou ocel. Při údržbě povrchu umožňuje úplné nebo částečné odstranění stávajících povlaků nastavením tlaku a odpovídajícího množství vzduchu, vody a otryskávacího materiálu. U této metody dosahujeme stupně očištění Sa 3. Ideální je zejména v případech, kdy je potřebné snížení množství rozpustných solí na povrchu a minimalizace prašnosti během čištění. [12]

Použití – očištěný povrch kontroluje pracovník vizuálně, ale zhoršuje mu to suspenzní pokrytí, tudíž musí být suspenze odstraněna pomocí suchého otryskání nebo tlakovou vodou. Před aplikací nátěrů musí být povrch osušen a může být pozorována blesková koroze. Blesková koroze je popsána v tab. 5. Mokrý otryskávání nesmí být použito, když je na závalu přítomnost vody. Otryskávací prostředky jsou obecně omezené,

a to na jednorázově použitelné materiály. Pokud použijeme inhibitor koroze, musí být kompatibilní s následnými povlaky. [12]

Suspenzní otryskávání

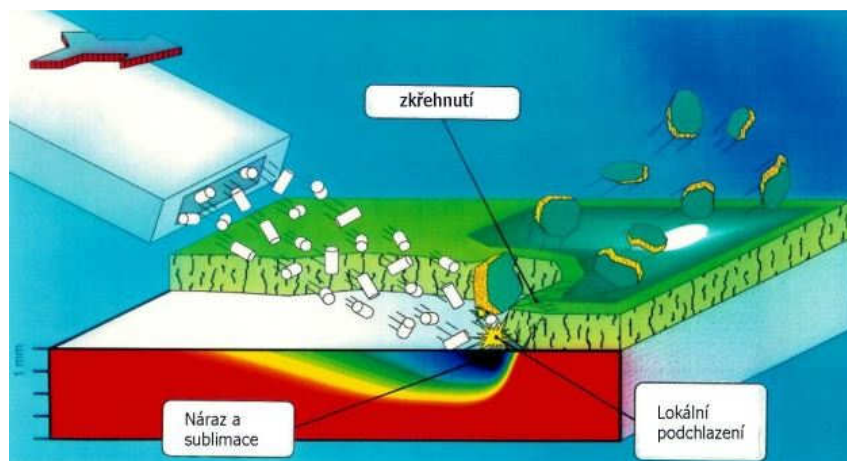
Jemné abrazivo, které je v kapalině nebo ve vodě, je s pomocí nebo bez pomoci stlačeného vzduchu směřováno k povrchu. Také se může přidávat i vhodný inhibitor koroze. Suspenzní otryskávání je vhodné pro dosažení jemného profilu povrchu vyžadující nízké nebo nesekundární profily potřebné pro drobné díly. Tímto způsobem se vytvoří zvláště hladký profil. Je vhodné pro snížení množství přítomných rozpustných solí. [12]

Otryskávání tlakovou kapalinou

Otryskávací směs je dodávána do proudu kapaliny, zejména vody a k čištěnému povrchu je usměrňována tryskou. Proudem je stlačená kapalina nebo voda. Přídavek otryskávacího prostředku je běžně nižší než při vlhkém otryskávání pomocí stlačeného vzduchu. Otryskávací směs může být přidávána buď suchá, a to se vzduchem, nebo bez něj, anebo jako mokrá suspenze. Do vody může být také přidán inhibitor koroze. Stejně jako pro mokré otryskávání. Otryskáváním tlakovou kapalinou je možné dosáhnout stupně očištění Sa 3 a Sa2 ½. Tato metoda je především vhodná pro snížení množství rozpustných solí, ale není tak dobře regulovatelná, jak je to možné u mokrého otryskávání. Při práci s vysokým tlakem vody může být zdrojem potenciálního nebezpečí. [12]

3.1.3 Tryskání suchým ledem

Otryskávání pomocí suchého ledu neboli také Cryoclean je možno označit za progresivní metodu otryskávání. Otryskávací směsí jsou v případě této technologie pelety suchého ledu. Pelety jsou vyráběny z kapalného oxidu uhličitého. Tento oxid se poté přemění na sníh a následným protlačením přes matrici vznikají pelety o průměru 3 mm a délce 8 mm. Za normálních atmosférických podmínek je jejich teplota mínus 78 °C. [36]



Obr. 11 - tryskání suchým ledem [30]

Metoda je velmi efektivní, rychlá a v první řadě ekologicky nezávadná. Jde tak o vhodnou alternativu mechanických i chemických způsobů čištění průmyslových zařízení a technologií. Tato metoda nepůsobí abrazivně, protože pelety suchého ledu jsou křehké a jejich tvrdost je zhruba stejná jako tvrdost sádky. Díky tomu jimi lze čistit povrchy náchylné na poškození, kde nelze vzhledem k abrazivním účinkům použít ostatní tryskácké prostředky. Tento fakt značně prodlužuje životnost čištěných ploch, protože při čištění nedochází k jejich opotřebení. Nezanedbatelný přínos této metody je ochrana životního prostředí, a to díky minimalizaci odpadu z čištění a nahrazení agresivních a zdraví škodlivých chemikálií. [36]

3.2 Kartáčování a broušení

3.2.1 Technologie broušení

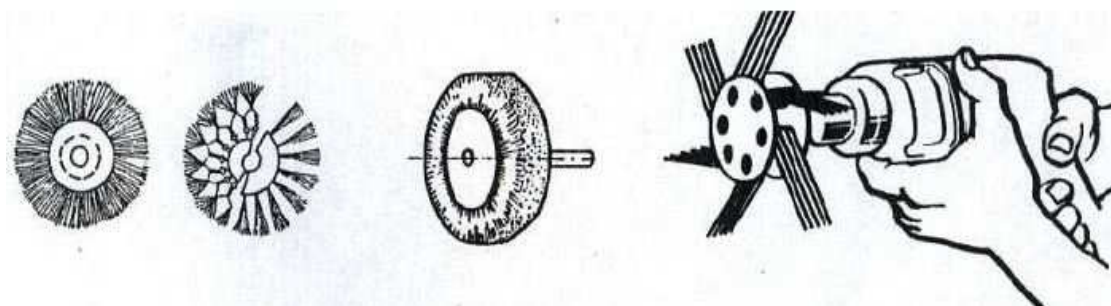
Broušení se vyznačuje postupným úběrem materiálu a následným odstraněním hrubých nerovností povrchů (švy odlitků, výkovek, rýhy atd.). Hrubování neboli hrubé broušení se provádí za sucha brusivem. Při jemném broušení se brusné kotouče přimazávají kvůli snížení tření a k dosažení jemnějšího povrchu. Předlešťováním docílíme výchozího povrchu pro leštění látkovými kotouči. [1]

Tab. 6 - Dělení zrnitosti [1]

Technologie broušení	Zrnitost
Hrubování	46 – 80
Hlazení	100 – 150
Jemné hlazení	200 – 240
Předlešťování	280 – 320
Jemné předlešťování	M32 – M22

3.2.2 Technologie kartáčování

Kartáčováním lze provádět dvě základní úpravy povrchu. Jednak slouží k odstraňování hrubých nečistot, jako je starý nátěr, rez, apod., jednak ho lze užít ke zjemnění povrchu před leštěním. Při odstraňování hrubých nečistot se používají kartáče s ocelovými dráty. V případě matové úpravy povrchu se užívá kartáčů s jemnými dráty, např. mosaznými. Pro zjemnění povrchu před leštěním užijeme kartáče s přírodními nebo umělými vlákny (např. sisal, silon), které jsou mazané brusnými pastami. [1]



Obr. 12 - kartáčovací kotouče [3]

3.3 Vliv předúpravy povrchu na přilnavost nátěrových systémů

Předúprava povrchu na přilnavost nátěrových systémů je velice významná. Pokud se předúprava povrchu provede nevhodně, zkrátí se životnost nátěru. To způsobí prostupování vrcholů nerovností nátěrem. Nad vrcholky je poté nanášena jen nepatrná vrstva nátěru a v těchto místech dochází k rychlému poškození nátěru rží. Například

u otryskávání by mělo dojít ihned k nanášení nátěrových systémů, neboť takový povrch rychle reaguje s okolím a vzniká koroze.

4. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

Cílem diplomové práce je experimentální odzkoušení dvou typů nátěrových hmot určených pro protikorozi ochranu ocelových konstrukcí. Pro experimentální zkoušky byla použita základní a mezivrstvá nátěrová hmota.

- vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1,
- hodnocení zaprášení povrchu (zbytky korozních částic) dle ČSN ISO 8502-3,
- měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287,
- zhotovení nátěrových filmů na ocelovém podkladu,
- stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808,
- korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227,
- zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087,
- stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou.

Hodnocení nátěrových systémů:

- hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2,
- hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3,
- hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8,
- hodnocení přilnavosti nátěrových systémů,
 - odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1,
 - mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2.

5. POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

5.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

Při vyhodnocování povrchu oceli se porovná daný experimentální vzorek s fotografickými standarty uvedené v normě ČSN EN ISO 8501-1. Tyto fotografické standarty jsou v normě uvedeny v příloze a jsou kopiemi, které byly pořízeny speciální technikou. Pro určení stupně zarezavění se zaznamenává nejhorší stupeň. Výsledkem hodnocení stupně se stává zaznamenaný vzhled nejbližší odpovídajícího hodnoceného ocelového povrchu.

5.2 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

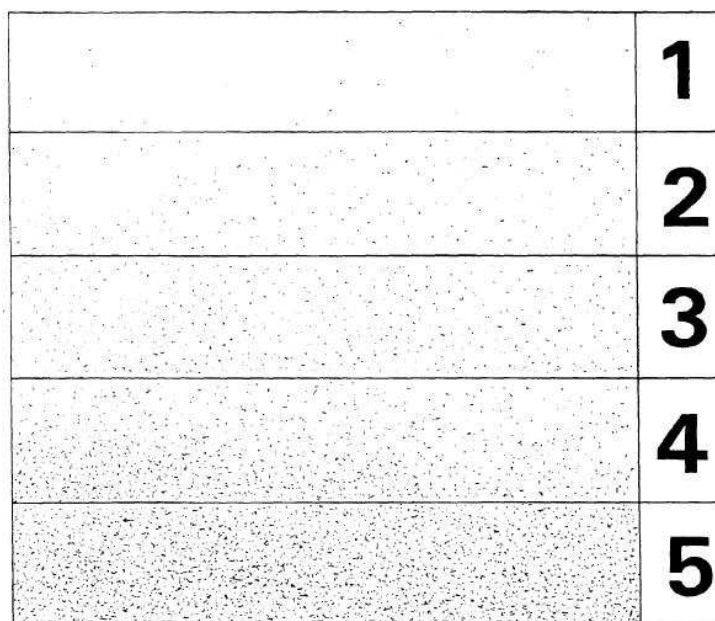
Norma stanovuje přesný popis a metodiku stanovení nečistoty na povrchu zkoumaného materiálu, tedy zhodnocení znečištění povrchu na očištěném ocelovém podkladu.

Dle normy ČSN ISO 8502-3 se používá adhezni páska o šířce 25 mm, která má adhezni sílu při odtrhu nejméně 190 N. Tato páska se sejme pod úhlem 180°, poté se přenese na kontrastní papír pro zobrazení prachových částic nebo nečistot. Následně se provede vyhodnocení čistoty povrchu na jednotlivých vzorcích. [11]

Pro vyhodnocení částic na adhezni pásce se vizuálně porovnává s pomocí lupy množství a velikost prachových částic s odpovídajícími vyobrazeními na obr. 13 a popisem v tab. 7 dle normy ČSN ISO 8502-3.

Tab. 7 - Třídy velikosti prachových částic dle ČSN ISO 8502-3 [11]

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10x
1	částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 µm v průměru)
2	částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 µm a 100 µm v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru
5	částice větší než 2,5 mm v průměru



Obr. 13 - Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3 [11]

5.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287

Norma vymezuje definice a parametry pro určování struktury zkoumaného povrchu. Zejména vlnitosti a drsnosti základního profilu. [16] Jedná se o dotykovou metodu, kde se profil získává pomocí diamantového snímacího hrotu. Profil drsnosti povrchu byl získán pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ 301. Tento přístroj je schopen hodnotit povrchové textury s nejrůznějšími parametry.

Parametry struktury povrchu, které byly předmětem měření:

Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm],

Rq – střední kvadratická úchylka profilu [μm],

Rz – největší výška profilu [μm],

Rp – největší výška výstupků profilu [μm],

Rv – největší hloubka prohlubní profilu [μm],

Rsk – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],

Rku – špičatost posuzovaného profilu [-],

λ_c – Filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti[mm]. [5]

5.4 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu

5.4.1 Měření tloušťky mokré vrstvy

Při aplikaci nátěrového hmoty je tloušťka mokré vrstvy měřena dle ČSN EN ISO 2808 pomocí hřebenové měrky. Měření mokré vrstvy nátěrového systému bylo prováděno vždy kolmo na povrch nanášeného podkladu.

Měřicí hřeben je vyroben z odolného materiálu proti korozi se zuby podél svého okraje. Tyto zuby tvoří linii s odstupňovanými mezerami, kde v každém rohu je referenční zub. Každý zub je označen odpovídající hodnotou mezery. Hřeben se přitiskne na povrch vzorku kolmo k rovině povrchu. Hřeben se oddálí a určí se poslední zub, který je ještě potřísněn nátěrovou hmotou a tím se určí tloušťka mokré vrstvy. [14]

5.4.2 Měření tloušťky suché vrstvy

Měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému bylo realizováno nedestruktivní metodou dle ČSN EN ISO 2808. Pro zjištění hodnot tloušťky byl použit digitální přístroj ELCOMETER 456 (viz obr. 14), který pracuje na principu magnetické indukce.



Obr. 14 - Měřicí přístroj ELCOMETER 456

5.5 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou

Korozní zkouška byla realizována v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR, která představuje jeden z nejmodernějších a nejvšestrannějších systémů pro hodnocení korozní odolnosti. Zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 9227.

Tato mezinárodní norma stanovuje chemikálie, přístroje a postupy pro zkoušky v mlze. U zkušební komory musí být objem nejméně 0,4 m³. Musí být zajištěno, aby ve zkušební komoře bylo dodrženo dobré distribuce mlhy. Doba trvání zkoušky odpovídá specifikaci pro zkoušený materiál nebo výrobek. Během předepsané doby zkoušky nesmí být rozprašování přerušeno. Připouští se pouze krátkodobé otevření komory pro vizuální kontrolu a fotodokumentaci vzorků pro jeho dokumentaci. V korozní komoře byly provozní podmínky, které jsou uvedeny níže. [23]

Provozní podmínky korozní komory Leibisch typ S400 M-TR:

- tlak vzduchu 3 – 4 bar,
- teplota v komoře 35 °C,
- průtok 0,45 l/hod,
- teplota zvlhčovače 55 °C,
- tlak vody 2,5 – 3 bar (max. 4 bar),
- pH spadu 6,5 - 7,2.

5.6 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování

Zrychlená ponorová zkouška odolnosti proti podkorodování dle normy ČSN 67 3087. Tato metoda je velice agresivní. Dle normy byl použit postup A. Tento typ je určen pro nátěry aplikované na ocelové podkladové materiály. Princip spočívá ve vystavení zkušebních vzorků působení okyseleného roztoku chloridu sodného za působení přídatku peroxidu vodíku.

Zkouška a její přesnost je dána počtem cyklů. Norma ČSN 67 3087 zpravidla předepisuje 1 až 3 cykly. Zkušební roztok se udržuje při teplotě 37° ± 0,5 °C. [15]

Pro zkoušku se připraví tento roztok:

Chlorid sodný /p.a./	50 g
Kyselina octová /100 % p.a./	10 ml
Peroxid vodíku /30 % p.a./	5 ml

Destilovaná voda do 1 000 ml pH = 2.6 až 3.0

Mezi jednotlivými cykly jsou vzorky oplachovány destilovanou vodou a ponechány na vzduchu mimo zkušební zařízení při teplotě $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, a to 8 hodin.

Po skončení zkoušky se vzorky vyjmou ze zkušebního zařízení, trojnásobně se opláchnou destilovanou vodou a umístí se v termostatu při teplotě $40^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ na dobu 30 až 60 minut. Poté se vyjmou a nechají vychladnout při teplotě místnosti $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Při této zkoušce se měří uvolněná plocha nátěru v okolí zkušebního řezu podle normy ČSN 67 3088-80 a udává se v mm^2 . Je-li předmětem zkoušky i rozsah plošného podkorodování zkušebního nátěru, postupuje se dle ČSN 67 3088-80. [15]

5.7 Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou.

Vliv a význam těkavých organických látek (VOC) na ekologii je popsán v kapitole 3.3. Aby VOC látky splňovaly zákonem stanovené limity, sleduje se jejich obsah v nátěrových systémech.

Pro určení obsahu těkavých organických látek byla použita gravimetrická metoda s časovým rozestupem 15 min, po kterém probíhalo vážení hmotnostního úbytku nátěrových systémů během vytvrzování. Touto metodou se určuje obsah těkavých organických látek [$\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$], hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] a obsah sušiny [% hm.] nátěrových systémů. Z naměřených hodnot se sestavuje křivka odparu těkavých organických látek, která podává představu o průběhu, intenzitě a době odpařování těkavých organických látek z nátěrových systémů. [6]

Postup měření:

1. Zvážit hmotnost prázdné injekční stříkačky.
2. Zvážit hmotnost injekční stříkačky s nabranou nátěrovou hmotou.
3. Zvážit hmotnost prázdné laboratorní misky.
4. Zvážit laboratorní misku s nátěrovou hmotou.
5. Zvážit hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci.
6. Vážit laboratorní misku s nátěrovou hmotou v časových intervalech 15 min.

Pro výpočet obsahu těkavých organických látek, hustoty a obsahu sušiny byly použity následující vzorce:

Obsah těkavých organických látek (VOC):

$$VOC = \frac{(m_{OF} + m_{NHV} - m_{NHF}) \cdot \rho_{NH} \cdot 1000}{m_{NHV}} \quad [g \cdot l^{-1}] \quad (1) \quad [6]$$

$$m_{NHV} = m_{PS} - m_{VS} \quad [g] \quad (2) \quad [6]$$

m_{NHV} – hmotnost nátěrové hmoty aplikované z injekční stříkačky [g]

m_{OF} – hmotnost prázdné laboratorní misky [g]

m_{NHF} – hmotnost Petriho misky s vysušenou nátěrovou hmotou [g]

ρ_{NH} – hustota nátěrové hmoty [$g \cdot cm^{-3}$]

m_{VS} – hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci nátěrové hmoty [g]

m_{PS} – hmotnost injekční stříkačky s nátěrovou hmotou [g]

Obsah sušiny [% hm.]

$$\text{Obsah sušiny} = \frac{(m_{NHF} - m_{OF}) \cdot 100}{m_{NHV}} \quad [\% \text{ hm.}] \quad (3) \quad [6]$$

Hustota nátěrové hmoty

$$\rho_{NH} = \frac{m_{PS} - m_{OS}}{V_S} \quad [g \cdot cm^{-3}] \quad (4) \quad [6]$$

m_{OS} – hmotnost prázdné injekční stříkačky před aplikací nátěrové hmoty [g]

V_S – objem stříkačky (*objem nátěrové hmoty* [cm³])

Porovnání křivek odparů nátěrových hmot

Pro porovnání křivek odparů nátěrových hmot bylo nutné provést aproximaci naměřených hodnot úbytku hmotnosti dle vztahu:

$$c(i) = \frac{m(i)}{m_{PF}} \quad [-] \quad (5) \quad [6]$$

m_{PF} – hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou [g]

$m(i)$ – hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou v průběhu vytvrzování [g]

5.8 Hodnocení nátěrových systémů

5.8.1 Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2

Množství a velikost puchýřků v nátěru se hodnotí pomocí obrázkových standardů uvedených v normě ČSN EN ISO 4628-2. Pokud se na zkoušené ploše vyskytují puchýřky různých velikostí, zahrnují se do hodnocení jejich velikosti ty puchýřky, které jsou typické pro zkoušenou plochu. Hodnotí se při dobrém osvětlení. Při klasifikaci množství nebo velikosti puchýřků podle fotodokumentace uvedených v normě. [17]

5.8.2 Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3

Stupeň prorezavění R_i se hodnotí pomocí obrázkových standardů uvedených v normě ČSN EN ISO 4628-3. Přibližné plochy s výskytem rzi znázorněné na těchto standardech jsou uvedeny v tabulce 8. Pokud je v různých částech zkoušené plochy vyhodnocen různý stupeň prorezavění, uvede se tento stupeň vždy spolu s příslušnou částí plochy. Hodnocení se provádí při dobrém osvětlení. Pokud se průměrná velikost míst s výskytem rzi na zkoušené ploše značně liší od velikostí znázorněných na obrázkových standardech, může se hodnocení velikosti provést podle údajů v ISO 4628-1:2003. [18]

Tab. 8 - stupně prorezavění [18]

Stupeň prorezavění	Plocha s výskytem rzi %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 až 50

5.8.3 Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu

Stupeň delaminace a koroze se stanoví buď měřením a výpočtem, nebo porovnáním řezu s obrazovými standardy znázorněnými v normě dle ČSN EN ISO 4628-8. Postupům měření a uvedeným výpočtům se obecně dává přednost před stanovením pomocí obrazových standardů. Hodnocení stupně delaminace může být provedeno ihned po vyjmutí vzorků z kondicionovaného prostředí nebo také po delší době kondicionování, čímž se stanoví, zda se přilnavost povlaku může sama obnovit. Hodnocení stupně koroze může být provedeno na vzorcích s povlakem, nebo po sejmutí povlaku. [19]

5.8.4 Hodnocení přilnavosti nátěrových systémů

- odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1

Jedná se o destruktivní zkoušku nátěrových systémů. Provádí se na vytvrzeném nátěrovém systému. Nejprve se jemně obrousí část nátěrového systému na zvoleném místě vzorku, aby se povrch vyrovnal. Namíchá se dvousložkové lepidlo v mísícím poměru 1:1 (Araldite). Lepidlo se poté nanese na funkční plochu válečku. Váleček se přilepí na připravené místo na zkušebním vzorku. Po vytvrzení se pomocí řezného nástroje prořízne nátěrový systém podél válečku až na podklad. Na nátěr se umístí vnější prstenec, nasune se trhací zařízení a provede se odtrh. Z odtrhového přístroje se odečte hodnota odtrhové pevnosti a posoudí se lomová plocha. [20]

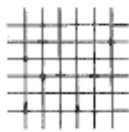

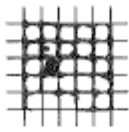
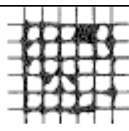
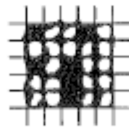
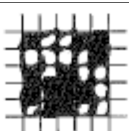


Obr. 15 - Zkušební přístroj Elcometer

- mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2.

Tato destruktivní metoda hodnotí odolnost nátěrového systému k oddělení od podkladu. Zkušební vzorek se umístí na vodorovnou pevnou plochu. Na zvolené místo se přiloží vodící šablona a ostrým řezným nástrojem se zhotoví za konstantního tlaku požadovaný řez tak, aby řezný nástroj pronikl až na podkladový materiál, přičemž vzdálenost řezů je závislá od tloušťky a typu povlaku. Celkem je nutné vytvořit 6 řezů. Následně se vodící šablona otočí o 90° tak, aby vznikla mřížka, a zhotoví se dalších 6 řezů. Vzniklá mřížka se několikrát lehce očistí měkkým štětcem. Na mřížku se nalepí samolepící adhezní páska a přitlačí se konečky prstů. Poté se samolepící páska pod úhlem přibližně 60° trhnutím za dobu 0,5 s – 1 s odstraní. Dle tab. 9 se klasifikuje výsledek zkoušky. [21,22]

Tab. 9 – Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [21]

Klasifikace	Popis	Schéma
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.	
1	Nepatrné poškození je v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5 %, ale méně než 15 % celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 %, ale méně než z 65 %.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4 (více než 65 %)	

6. CHARAKTERISTIKA VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

6.1 Charakteristika vzorků

Pro experimentální část diplomové práce byly použity vzorky z materiálu KOSMALT – E 300T o rozměrech 150 x 100 x 3 mm. Tyto vzorky byly dodány firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. Jedná se o plechy válcované za tepla, které jsou vhodné k lisování za studena.

Tab. 10 - Mechanické vlastnosti oceli KOSMALT - E 300T [39]

Mechanické vlastnosti KOSMALT - E 300T	
Mez kluzu Re [MPa]	300 - 450
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	350 - 550
Tažnost A ₅ [%]	28

Tab. 11 - Chemické složení oceli KOSMALT - E 300T [39]

Chemické složení KOSMALT - E 300T								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	N	Ti
obsah[%]	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06



Obr. 16 - Mikrosnímek otryskaného povrchu při zvětšení 200x

Pozn.: Snímek vzorku otryskaného povrchu byl pořízen na mikroskopu NEOPHOT 2.

6.2 Značení vzorků

Pro experimentální zkoušku bylo použito celkem 16 vzorků, na které byla aplikována oboustranně základní nátěrová hmota REMOPLAST EP ZINK. Poté na polovinu vzorků byla provedena oboustranná aplikace nátěrové hmoty REMOPLAST HS – KST FAST ve dvou vrstvách.

Experimentální vzorky s aplikovanou nátěrovou hmotou REMOPLAST EP ZINK byly značeny zkratkou ZK.

Tab. 12 - Značení vzorků REMOPLAST EP ZINK

Značení	Význam
ZK1 až ZK2	Referenční vzorky
ZK3 až ZK5	Vzorky určené ke zrychlené ponorové zkoušce
ZK5 až ZK8	Vzorky určené pro expozici v korozní komoře

Experimentální vzorky se systémem REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST

Tab. 13 - Značení vzorků REMOPLAST HS – KST FAST

Značení	Význam
MV1 až MV2	Referenční vzorky
MV3 až MV5	Vzorky určené ke zrychlené ponorové zkoušce
MV5 až MV8	Vzorky určené pro expozici v korozní komoře

6.3 Nátěrové systémy použité pro experiment

6.3.1 REMOPLAST EP ZINK

Jedná se o dvousložkovou epoxidovou základní nátěrovou hmotu s obsahem zinkového prachu s příměsí tužidla na bázi polyamidu, kterou vyrábí firma Rembrandtin s.r.o. Hlavní vlastností nátěrové hmoty je katodická ochrana ocelového

povrchu, odolnost vůči chemickému, mechanickému a povětrnostnímu namáhání. Detailnější informace k nátěrové hmotě REMOPLAST EP ZINK jsou uvedeny v příloze č. 1.

Tužení nátěrové hmoty bylo provedeno dle technického listu v poměru:

20 hm. dílů Remoplast EP Zink (složka barva)

1 hm. díl Remoplast hardener (složka tužidlo)

6.3.2 REMOPLAST HS – KST FAST

REMOPLAST HS – KST FAST je dvousložková epoxidová vysokosušinná nátěrová hmota s nízkým obsahem VOC látek, kterou vyrábí firma Rembrandtin s.r.o. Nátěrová hmota obsahuje antikorozi lamelární pigmenty a je určena pro krycí aplikace na ocelové podkladové materiály. Detailnější informace o nátěrové hmotě REMOPLAST HS – KST FAST jsou uvedeny v příloze č. 2.

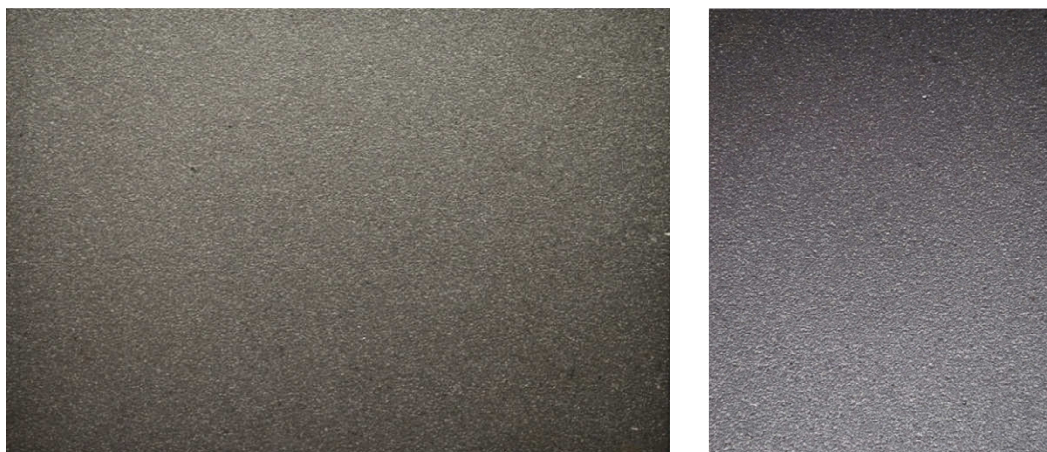
Tužení nátěrové hmoty bylo provedeno dle technického listu v poměru:

7 hm. dílů Remoplast HS - KST (složka barva)

1 hm. díl Remoplast HS Fast hardener (složka tužidlo)

6.4 Vizuální hodnocení čistoty povrchu

Použitý podkladový materiál byl před aplikací nátěrových systémů otryskán ocelovou drtí na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½, tzn., že na povrchu nebyla patrná přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků nátěrů a cizích látek.



Obr. 17 - Fotografická dokumentace povrchu podkladových materiálů s detailem povrchu

6.5 Hodnocení zaprášení povrchu

Při hodnocení zaprášenosti povrchu byly ze sady vzorků vybrány 3 referenční vzorky, na kterých byla provedena zkouška dle normy ČSN ISO 8502-3.

Tab. 14 - hodnocení nečistot

Vzorky	Množství prachových částic	Velikost prachových částic	Dokumentace znečištění
1	2	4	
2	2	4	
3	2	4	

Množství prachových částic na všech vybraných referenčních vzorcích bylo na stupni 2 s velikostí částic 0,5 až 2,5 mm v průměru. Protože tyto experimentální vzorky byly otrýskány ocelovou drtí, lze jednoznačně předpokládat, že se nejedná o prachové částice, ale o zbytky otrýskacího média.

6.6 Hodnocení drsnosti podkladového materiálu

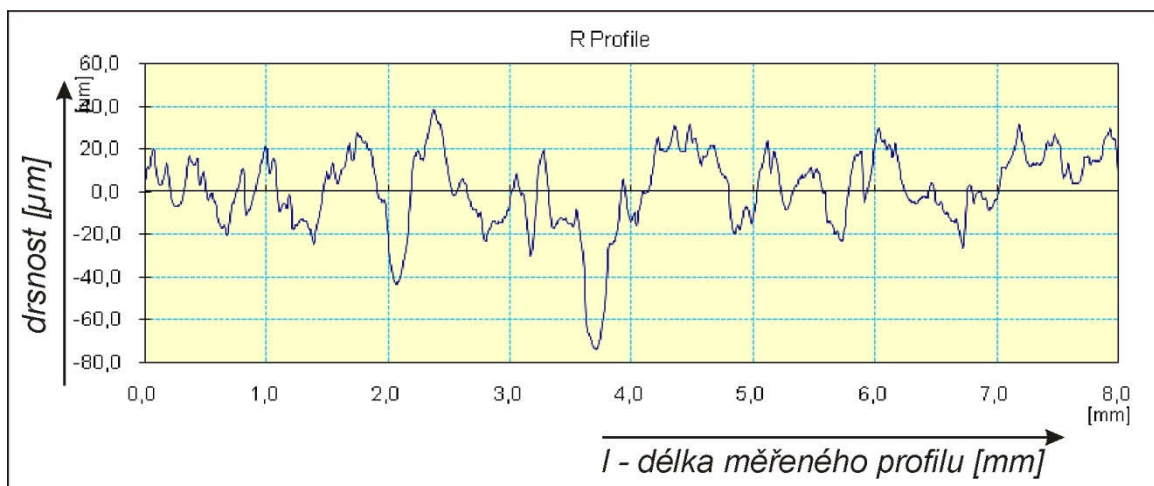
Pro hodnocení drsnosti podkladového materiálu byl přístroj Mitutoyo SurfTest SJ 301 nastaven na hodnoty uvedené v tab. 15. Po naměření drsnosti povrchu drsnoměr vygeneroval hodnoty uvedené v tab. 16 a zároveň vytvořil graf reliéfu povrchu. Pro znázornění je uveden graf 1, který náleží měření č. 3.

Tab. 15 - Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301

Work Name	Measuring Tool	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	λc	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	1	8 mm	GAUSS

Tab. 16 - Tabulka naměřených hodnot drsnosti povrchu

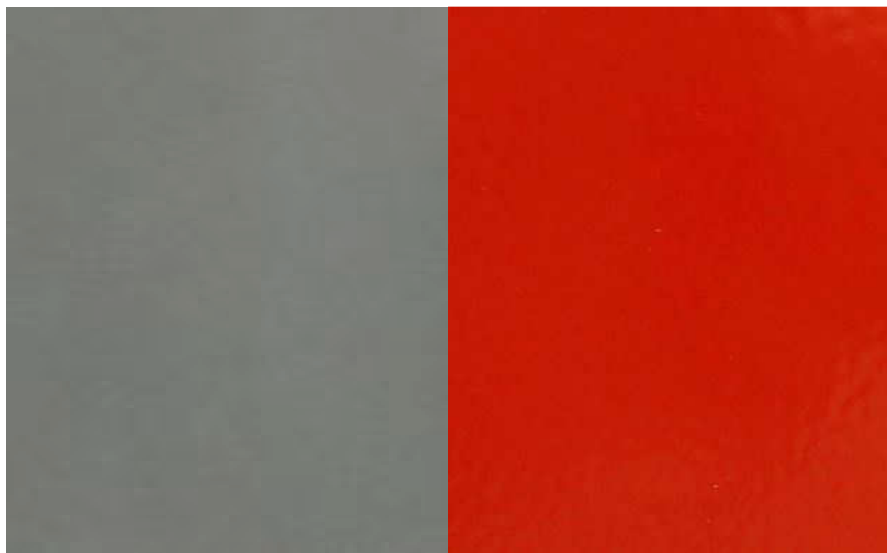
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	13,94	99,49	15,58	46,05	50,44	-0,08	3,01
2	13,86	83,45	16,33	35,45	48,00	-0,25	2,33
3	12,45	87,21	15,72	32,18	55,02	-0,95	3,68
4	14,15	110,3	17,68	48,86	61,39	-0,06	3,09
5	14,18	112,2	18,32	37,90	74,26	-0,94	5,23
6	13,25	84,15	16,81	32,71	51,45	-0,96	3,62
7	14,35	99,76	18,42	53,93	45,84	-0,06	3,27
8	13,49	95,49	16,71	40,90	54,59	-0,48	3,04
9	14,95	91,78	18,01	40,30	51,47	-0,14	2,48
10	13,51	87,23	16,74	33,71	53,51	-0,25	2,79
Průměrné hodnoty	13,81	95,11	17,03	40,20	54,60	-	3,25



Graf. 1 - Graf drsnosti povrchu podkladového materiálu KOSMALT E300T

6.7 Aplikace nátěrových hmot

Nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK a REMOPLAST HS – KST FAST byly aplikovány pomocí vzduchového stříkání s tlakem 3 bary s výstupním průměrem trysky 1,8 mm. Z důvodu zvolené aplikační technologie byly nátěrové hmoty dle technického listu ředěny požadovaným ředidlem.



Obr. 18 - Fotografická dokumentace experimentálních vzorků s aplikovanými nátěrovými hmotami, vlevo: REMOPLAST EP ZINK, vpravo: REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST

6.8 Měření mokré a suché vrstvy nátěrového filmu

Dle technického listu nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK byla na podkladovém materiálu aplikována tloušťka mokré vrstvy 70 μm a nátěrová hmota REMOPLAST HS – KST FAST byla aplikována o tloušťce mokré vrstvy 110 μm (aplikace byla provedena ve dvou vrstvách).

Měření suché vrstvy bylo realizováno vždy z obou stran experimentálních vzorků 10krát. Naměřené hodnoty pro nátěrovou hmotu REMOPLAST EP ZINK jsou uvedeny v tab. 17 a pro systém REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST jsou hodnoty uvedeny v tab. 18. Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná tloušťka nátěrového systému, max. a min. tloušťky suché vrstvy a procentuální odchylka od požadované tloušťky (uvedeno v technickém listu) a průměrné tloušťky nátěrového systému. Hodnota procentuální odchylky se pohybovala maximálně do $\pm 10 \%$.

Tab. 17- tloušťka suché vrstvy nátěrového systému REMOPLAST EP ZINK

Měření	Tloušťka suché vrstvy nátěrového systému [μm]															
	ZK1		ZK2		ZK3		ZK4		ZK5		ZK6		ZK7		ZK8	
	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2
1	66,4	66,4	65,4	79,9	72,2	62,3	61,2	84	77,5	68	74,7	85	61,6	67,8	82,7	77,5
2	64,4	65,4	71,1	72,4	80	55,9	54,3	84,3	52,2	78,3	76,5	77,7	53,4	73,3	66,9	68,5
3	58,9	54,7	78,2	86,3	81,6	72,7	60,3	80,3	57,2	64	79,5	82,3	74,1	78,2	63,3	72
4	60,3	58,1	81,8	76,3	65,2	61,5	65,7	73,7	92,4	59,2	74,2	72,6	76,3	81,4	72,7	65,2
5	71,2	64,6	69,1	85,4	82,5	78	66,9	74,7	77,1	68,6	87,3	75,9	50,3	66,4	61,4	82,1
6	67,4	62,6	72,6	81,3	68,8	81,6	59,3	73,7	82,1	86,4	75,9	65,9	61,3	69,6	64,3	54,7
7	77,3	67,5	59,1	71,6	80,6	69,2	57,4	74,9	74,8	57,5	65,4	69,1	65	80,7	66,9	62,7
8	73,1	63,3	77,5	75,9	70,2	56,9	63,3	83,2	56	72,7	67,1	67,6	62,7	64,4	63,7	71,6
9	76,9	58,7	66,9	72,6	76,6	69,6	78,3	72,3	49,7	72,6	66	81,6	75,5	70,2	78,3	55,4
10	83,1	70,6	63,8	71,3	66,4	60,8	72,8	71,6	63,7	71,58	79,4	77,3	63,2	66,7	77,9	72,8
Prům. tl. NS [μm]	69,9	63,19	70,55	77,3	74,41	66,85	63,95	77,27	68,27	69,888	74,6	75,5	64,34	71,87	69,81	68,25
Doporučená tloušťka NS [μm]	70															
% odchylka od dop. tl.	0	-10	1	10	6	-5	-9	10	-2	0	7	8	-8	3	0	-3
Max. naměřená tloušťka NS [μm]	83,1	70,6	81,8	86,3	82,5	81,6	78,3	84,3	92,4	86,4	87,3	85	76,3	81,4	82,7	82,1
Min. naměřená tloušťka NS [μm]	58,9	54,7	59,1	71,3	65,2	55,9	54,3	71,6	49,7	57,5	65,4	65,9	50,3	64,4	61,4	54,7

Tab. 18 - tloušťka suché vrstvy nátěrového systému REMOPLAST HS – KST FAST

Měření	Tloušťka suché vrstvy nátěrového systému [µm]															
	MV1		MV2		MV3		MV4		MV5		MV6		MV7		MV8	
	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2	Str. 1	Str. 2
1	250	226	238	249	254	227	232	251	242	234	222	207	244	238	230	232
2	233	211	241	241	249	220	236	242	223	229	218	220	251	239	221	214
3	241	215	237	222	243	215	249	213	196	218	211	215	243	233	229	241
4	212	221	221	219	238	219	221	242	237	220	232	219	229	231	231	239
5	231	236	229	219	223	224	243	247	256	226	243	224	226	227	225	226
6	224	234	219	233	245	239	221	210	239	221	221	229	221	224	227	220
7	221	214	225	247	219	226	207	227	233	215	214	226	219	221	234	216
8	239	210	238	241	239	238	238	232	239	233	211	238	228	217	238	238
9	240	239	242	231	241	235	238	236	233	231	241	219	226	247	219	231
10	225	228	227	221	221	231	239	234	244	224	233	231	235	212	237	222
Prům. tl. NS [µm]	231,6	223,4	231,7	232,3	237,2	227,4	232,3	233,4	234,2	225,1	224,6	222,8	232,2	228,9	229,1	227,9
Doporučená tloušťka NS [µm]	230															
% odchylka od dop. tl.	2	-9	2	3	10	-4	3	5	6	-7	-8	-10	3	-2	-1	-3
Max. naměřená tloušťka NS [µm]	250	239	242	249	254	239	249	251	256	234	243	238	251	247	238	241
Min. naměřená tloušťka NS [µm]	212	210	219	219	219	215	207	210	196	215	211	207	219	212	219	214

6.9 Vyhodnocení korozní zkouška v umělé atmosféře

Délka expozice v korozní komoře byla zvolena maximálně 720 hodin. V průběhu zkoušky byla prováděna fotografická dokumentace a hodnocení změn nátěrového systému v intervalu 0 h, 24 h, 48 h, 96 h, 120 h, 240 h, 480 h a 720 h. Hodnocení degradace nátěrových systémů je uvedeno v tab. 19 a fotografická dokumentace v příloze č. 3 a č. 4.

Tab. 19 - Hodnocení nátěrového systému (Základ+Mezivrstva) v průběhu korozní zkoušky v umělé atmosféře

Expozice v korozní komoře	Nátěrový systém	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorazavění	Delaminace / koroze podél řezu	Puchýřkování v okolí řezu
0 h	REMOPLAST EP ZINK	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
24 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
48 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/1	0 (S0)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
96 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/1	1 (S1)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
120 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/2	1 (S1)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
240 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/2	1 (S1)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
480 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/3	1 (S4)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)

Expozice v korozní komoře	Nátěrový systém	Stupeň puchýřkování	Stupeň proražení	Delaminace / koroze podél řezu	Puchýřkování v okolí řezu
720 h	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/3	1 (S4)
	REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	1/1	0 (S0)

Z tabulky 19 je zřejmé, že nátěrové systémy vykazovaly velmi dobrou korozní odolnost při expozici v korozní komoře. U nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK se první puchýře objevily již po 24 h expozice v korozní komoře. Vyskytl se téměř nevýznamný počet defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm, které se při další expozici nerozšiřovaly, a nedošlo k žádnému proražení.

V případě vytvoření řezu se objevila velmi malá koroze až po 48 h expozice v korozní komoře. Po 720 h expozice byla delaminace nátěrového systému velmi malá a koroze mírná. Zároveň v okolí řezu se vyskytoval malý a téměř nevýznamný počet defektů typu puchýřů a velikosti 0,5 až 5 mm.

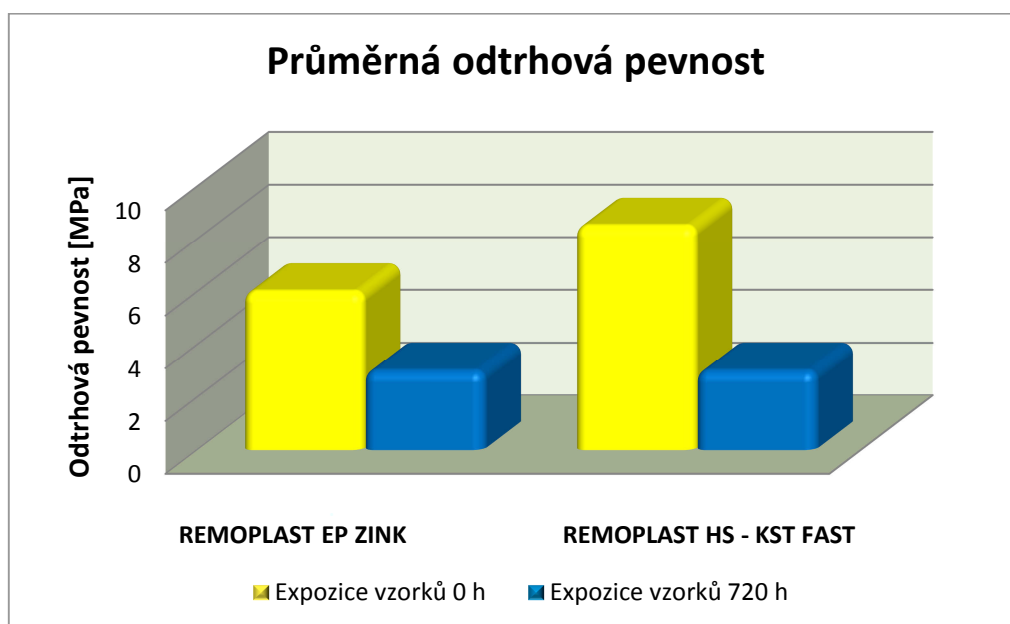
U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST se první defekty typu puchýřů objevily až po 48 h expozice v korozní komoře. Množství defektů bylo velmi malé, téměř nevýznamné o velikosti větší než 5 mm. Při další expozici nedošlo k dalšímu rozšíření defektů a proražení nátěrového filmu. V případě vytvoření řezu do nátěrového filmu nevznikly žádné defekty typu puchýřů, delaminace ani koroze v okolí řezu.

Odrhová zkouška přilnavosti

Odrhová zkouška přilnavosti byla realizována před expozicí vzorku v korozní komoře a po 720 h expozice. Naměřené hodnoty odtrhové pevnosti a charakteristické lomy jsou zaznamenány v tab. 20. Zároveň z naměřených hodnot odtrhové pevnosti byly vypočteny průměrné hodnoty, které jsou vyobrazeny v grafu 2.

Tab. 20 – Vyhodnocení charakteristiky lomu

Nátěrová hmota	Expozice v korozní komoře	Měření	Odtřhová pevnost [MPa]	Průměrná odtřhová pevnost [MPa]	Charakteristika lomu [%]					
					A/B	B	B/C	C/D	D	-/Y
REMOPLAST EP ZINK	0 h	1	7	6	-	25	-	-	-	75
		2	5		-	10	-	-	-	80
		3	6		25	-	-	-	-	75
		4	6		25	-	-	-	-	75
	720 h	1	4	3	100	-	-	-	-	-
		2	2		100	-	-	-	-	-
		3	2		100	-	-	-	-	-
		4	4		100	-	-	-	-	-
REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0 h	1	6	8,5	-	-	-	60	-	40
		2	8		-	-	-	15	-	58
		3	10		10	-	35	-	40	15
		4	10		20	-	35	-	45	5
	720 h	1	4	3	100	-	-	-	-	-
		2	4		100	-	-	-	-	-
		3	2		100	-	-	-	-	-
		4	2		100	-	-	-	-	-



Graf. 2 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici v korozní komoře

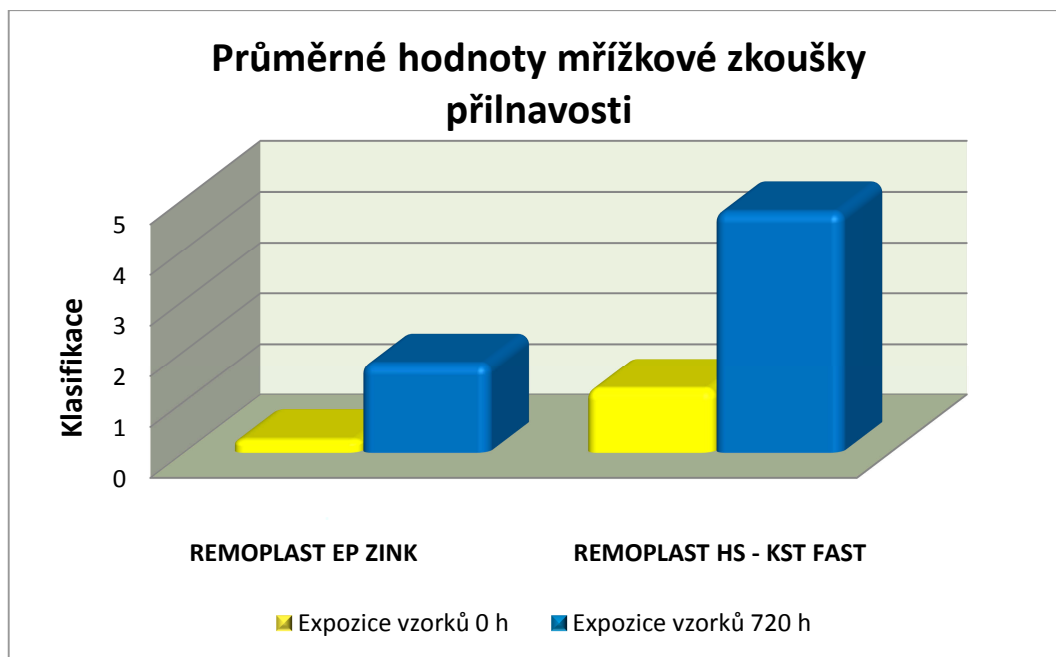
Všeobecně se konstatuje, že hraniční hodnota pro posouzení dobré přilnavosti nátěrového systému je 3 MPa. Z grafu č. 2 je patrné, že průměrná odtrhová pevnost u obou zkoumaných nátěrových systémů po expozici v korozní komoře klesla až na hraniční hodnotu 3 MPa. Tento pokles mohl být zapříčiněn např. zbytky tryskacího média, které se projevily až po expozici. Výsledky charakteristických lomů poukazují na velmi špatnou přilnavost základní nátěrové hmoty, protože ve všech případech došlo ke 100% adheznímu poškození mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou.

Mřížková zkouška přilnavosti

Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena před expozicí v korozní komoře a po 720 h expozice. Na podkladových materiálech s aplikovanou základní nátěrovou hmotou REMOPLAST EP ZINK byla mřížková zkouška provedena řezným nástrojem s rozestupem vodící šablony 2 mm. U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST byl rozestup vodící šablony 3 mm. Protože tloušťka suché vrstvy přesahovala hodnotu 120 μm , která je hraniční hodnotou pro použití vodící šablony s rozestupem 2 mm. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 22 a zároveň průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky jsou vyobrazeny v grafu 3.

Tab. 21 – Klasifikace mřížkové zkoušky

Nátěrová hmota	Expozice v korozní komoře	Klasifikace mřížkové zkoušky [-]				Průměrná hodnota klasifikace [-]
		1	2	3	4	
REMOPLAST EP ZINK	0	0	0	1	0	0,25
	720	2	2	1	2	1,75
REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0	1	2	1	1	1,25
	720	5	5	5	4	4,75



Graf. 3- Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u korozní zkoušky

Z grafu 3 je zřejmé že po 720 h expozice v korozní komoře vykazovaly základní nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK průměrné poškození plochy mřížky o více než 5 %, ale méně než 15 %. U nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST však průměrné poškození plochy mřížky přesahovalo až 65 %.

6.10 Vyhodnocení zrychlení ponorové zkoušky

Zrychlená ponorová zkouška byla realizována dle ČSN 67 3087 v délce tří cyklů. Po každém cyklu bylo provedeno vizuální hodnocení, které je uvedeno v tab. 23 a fotodokumentace experimentálních vzorků, viz příloha č. 4 a č. 5.

Tab. 22 - Hodnocení nátěrového systému (Základ+Mezivrstva) v průběhu ponorové zkoušky

Podkladový materiál	Expozice v solné lázni	Nátěrový systém	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Delaminace / koroze podél řezu	Puchýřkování v okolí řezu
KOSMALT – E 300T.	0. cyklus	REMOPLAST EP ZINK	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
		REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
	1. cyklus	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/1	0 (S0)
		REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
	2. cyklus	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/1	1 (S4)
		REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S4)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)
	3. cyklus	REMOPLAST EP ZINK	1 (S4)	Ri 0 (S0)	1/1	1 (S4)
		REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	1 (S5)	Ri 0 (S0)	0/0	0 (S0)

Z tab. 23 je patrné, že základní nátěrový systém REMOPLAST EP ZINK vykazoval mírně horší výsledky než systém REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST. U základního nátěrového systému došlo ke vzniku velmi malého, téměř nevýznamného počtu defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm již po 1. cyklu expozice v ponorové zkoušce. Tyto defekty se dále nerozšiřovaly a nedošlo ani k prorezavění nátěrového filmu. V případě vytvoření řezu se po prvním cyklu objevilo velmi malé množství koroze a při další expozici nedošlo ke změně, avšak objevila se velmi malá delaminace. V okolí řezu došlo ke vzniku téměř nevýznamného počtu defektů typu puchýřů a o velikosti 0,5 až 5 mm.

U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST se první defekty typu puchýřů objevily po 2. cyklu ponorové zkoušky. Množství puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm bylo téměř zanedbatelné. Další expozice u ponorové zkoušky

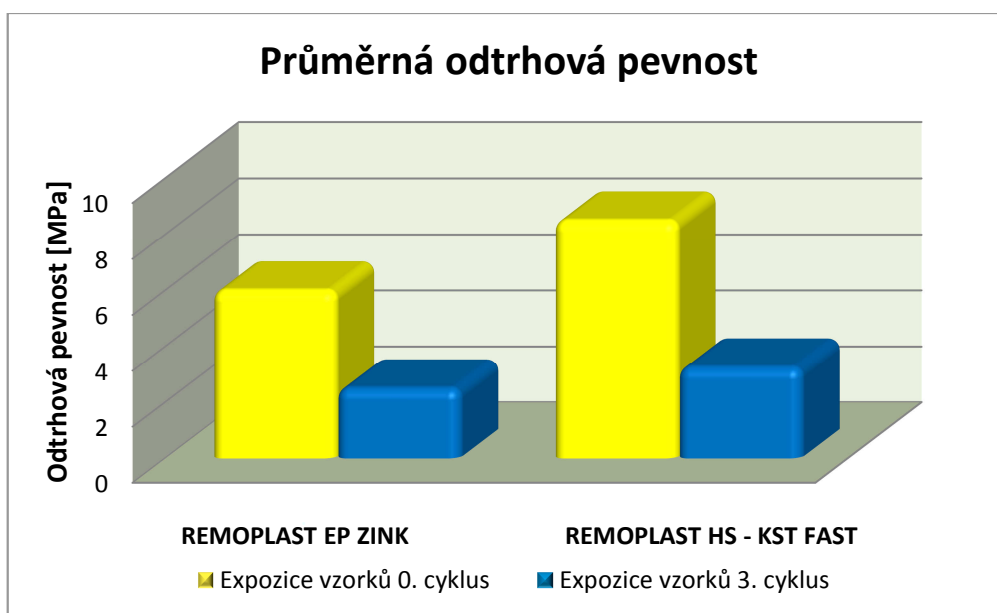
způsobila nárůst puchýřů nad 5 mm. V průběhu expozice nedošlo k žádnému prorezavění, delaminaci ani korozi v řezu, v okolí řezu se nevyskytly žádné puchýře.

Odrhová zkouška přilnavosti

Odrhová zkouška přilnavosti byla realizována před expozicí ve zrychlené ponorové zkoušce a po třetím cyklu. Naměřené hodnoty odtrhové pevnosti a charakteristické lomy jsou uvedeny v tabulce 23. Z naměřených hodnot odtrhové pevnosti byly vypočteny průměrné hodnoty, které jsou pro lepší znázornění vyobrazeny v grafu 4.

Tab. 23 – Vyhodnocení charakteristiky lomu

Nátěrová hmota	Expozice ponorové zkoušky	Měření	Odrhová pevnost [MPa]	Průměrná odtrhová pevnost [MPa]	Charakteristika lomu [%]					
					A/B	B	B/C	C/D	D	1-/Y
REMOPLAST EP ZINK	0. cyklus	1	7	6	-	25	-	-	-	75
		2	5		-	10	-	-	-	80
		3	6		25	-	-	-	-	75
		4	6		25	-	-	-	-	75
	3. cyklus	1	3	2,5	100	-	-	-	-	-
		2	2		100	-	-	-	-	-
		3	2		100	-	-	-	-	-
		4	3		100	-	-	-	-	-
REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0. cyklus	1	6	8,5	-	-	-	60	-	40
		2	8		-	-	-	15	-	58
		3	10		10	-	35	-	40	15
		4	10		20	-	35	-	45	5
	3. cyklus	1	4	3,25	100	-	-	-	-	-
		2	3		100	-	-	-	-	-
		3	4		100	-	-	-	-	-
		4	2		100	-	-	-	-	-



Graf. 4 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u ponorové zkoušky

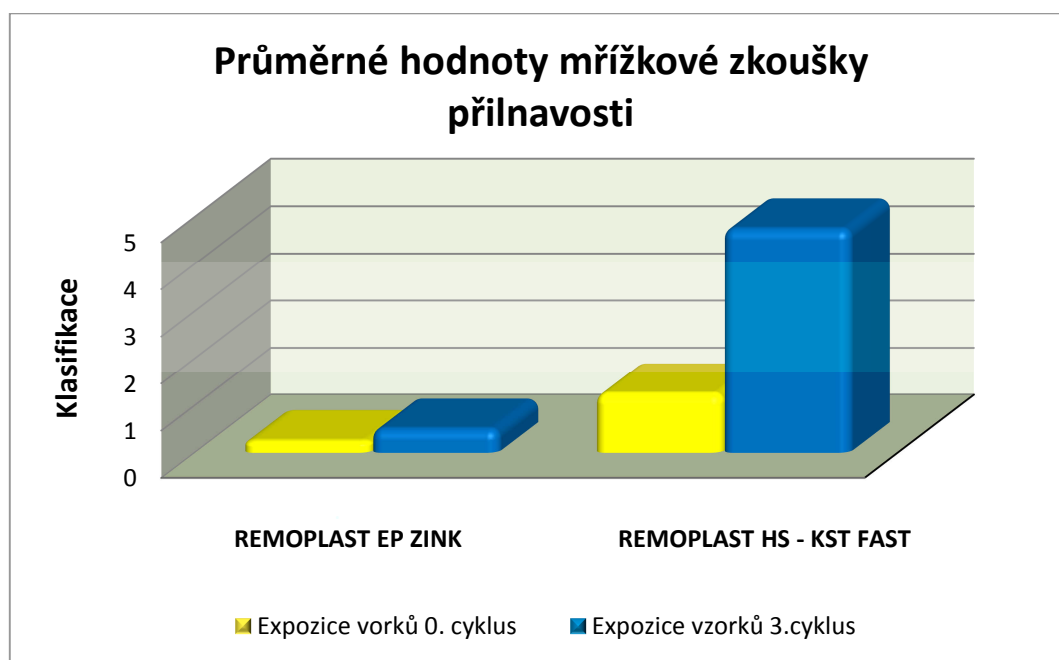
Z grafu 4 je patrné, že výsledky odtrhové pevnosti po ponorové zkoušce jsou podobné výsledkům průměrné odtrhové pevnosti po korozní zkoušce. Zároveň došlo k poklesu průměrné odtrhové pevnosti pod hraniční hodnotu 3 MPa u základní nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK, což poukazuje na špatnou přilnavost podkladového materiálu a dokazuje to 100% adhezní poškození mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou.

Mřížková zkouška přilnavosti

Mřížková zkouška přilnavosti byla realizována před expozicí v ponorové zkoušce a po třetím cyklu. Výsledky klasifikace mřížkové zkoušky jsou uvedeny v tab. 24 a zároveň průměrné hodnoty jsou vyneseny do grafu 5.

Tab. 24 - Klasifikace mřížkové zkoušky

Nátěrová hmota	Expozice ponorové zkoušky	Klasifikace mřížkové zkoušky [-]				Průměrná hodnota klasifikace
		1	2	3	4	
REMOPLAST EP ZINK	0. cyklus	0	0	1	0	0,25
	3. cyklus	1	0	0	1	0,5
REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST	0. cyklus	1	2	1	1	1,25
	3. cyklus	5	5	5	4	4,75



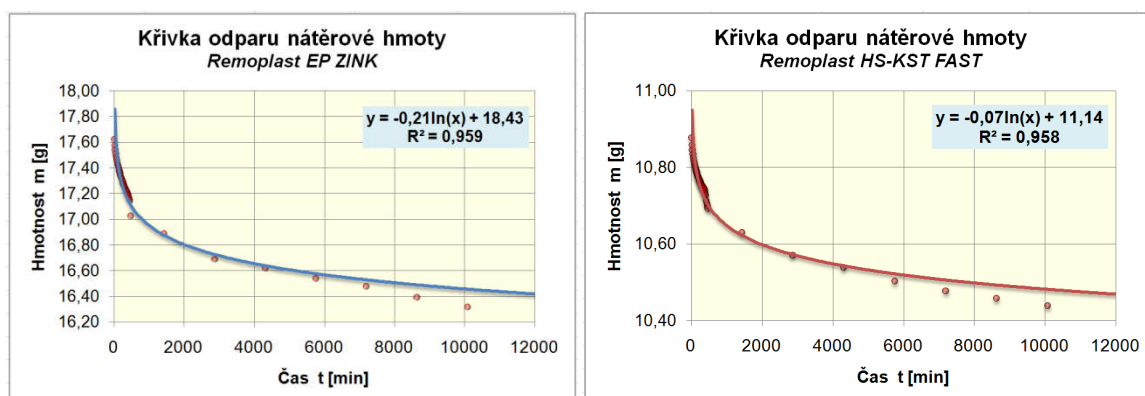
Graf. 5 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u ponorové zkoušky

Z grafu 5 je patrné, že po expozici vzorku v ponorové zkoušce u základní nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK nenastala velká změna přilnavosti a poškození plochy mřížky je do 5 %. Avšak u systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST přesahovalo průměrné poškození plochy mřížky 65 %.

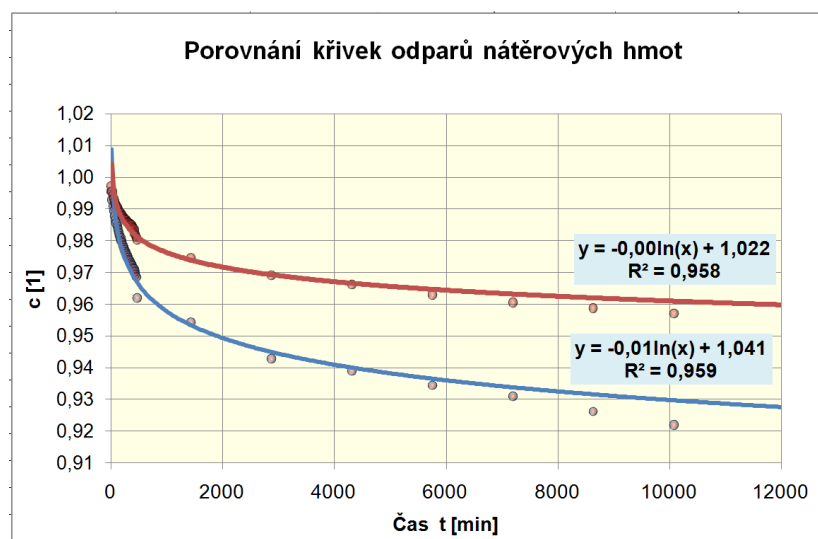
6.11 Stanovení obsahu těkavých organických látek gravimetrickou metodou

Tab. 25 - Vypočtené hodnoty hustoty, obsahu VOC látek a obsahu sušiny nátěrových systémů

Nátěrová hmota		Hustota [g·cm ⁻³]	VOC [g·l ⁻¹]	Obsah sušiny [% hm.]
Remoplast EP ZINK	Vypočteno	1,15	119,16	89,64
	Údaj výrobce	2,6	392,00	86,00
Remoplast HS-KST FAST	Vypočteno	0,577	41,65	92,78
	Údaj výrobce	1,4	228,00	86,00



Graf. 6 - Křivky odparu nátěrových hmot
(vlevo: Remoplast EP ZINK, vpravo: Remoplast HS-KST FAST)

Porovnání křivek odparů nátěrových hmot**Graf. 7 - Porovnání křivek odparu nátěrových hmot**

— Remoplast EP ZINK — Remoplast HS-KST FAST

Zhodnocení:

Výsledky měření obsahu těkavých organických látek se liší od technických listů nátěrových hmot, a to REMOPLAST EP ZINK a REMOPLAST HS-KST FAST. Měření prokázalo, že výrobce nátěrové hmoty uvádí vyšší hodnoty těkavých organických látek (VOC látek). Tuto změnu mohlo zapříčinit dřívější přelítí nátěrové hmoty nebo manipulace s ní, kde částečně mohlo dojít k odtěkání těkavých organických látek (VOC látek) z nátěrové hmoty.

Porovnání křivek nátěrových hmot v grafu 7 je patrné, že nátěrová hmota REMOPLAST EP ZINK má vyšší hodnotu těkavých organických látek, než je tomu u nátěrové hmoty REMOPLAST HS-KST FAST. A to nám potvrzuje i tabulka 25, kde jsou vypočtené hodnoty VOC látek.

7. ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na studium vlivu korozního prostředí, na vlastnosti ochranných povlaků aplikovaných na ocelové konstrukce, které jsou exponovány dlouhodobě v korozním prostředí. Diplomová práce je rozdělena na dvě části, a to teoretickou a experimentální.

Teoretická část diplomové práce se zaměřuje na vývoj korozního prostředí, které má zásadní vliv na životnost ocelových materiálů, s popisem typů korozního prostředí. Zároveň popisuje možnost ochrany ocelových konstrukcí proti korozi nátěrovými systémy, pro které je důležitým předpokladem vhodná volba předúpravy povrchu.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na testování nátěrových systémů REMOPLAST EP ZINK a REMOPLAST HS – KST FAST, které byly aplikovány na podkladový materiál otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½ a následně byly vzorky vystaveny umělé atmosféře solné mlhy a v agresivním roztoku, jenž se používá pro testování tzv. zrychlenou ponorovou zkoušku.

Korozní zkouška v umělé atmosféře solné mlhy prokázala, že po 720 hodinách expozice nátěrové systémy vykazovaly dobrou korozní odolnost, protože v průběhu došlo pouze ke vzniku velmi malého, téměř nevýznamného počtu defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm. V okolí řezu nátěrového systému REMOPLAST EP ZINK se vyskytoval malý a téměř nevýznamný počet defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm s velmi malou delaminací nátěru a mírnou korozí. U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST nevznikly v okolí řezů žádné defekty typu puchýřů, delaminace ani koroze. Z hlediska přilnavosti nátěrové systémy vykazovaly znatelný pokles na hodnotu průměrné odtrhové pevnosti 3 MPa, což je klasifikováno ještě jako přípustná odtrhová pevnost pro posouzení, zda nátěrový systém má dobrou přilnavost. Výsledky charakteristických lomů poukazují na velmi špatnou přilnavost základní nátěrové hmoty, protože ve všech případech došlo ke 100% adheznímu poškození mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou. U mřížkové zkoušky přilnavosti vykazoval velmi dobré výsledky základní nátěrový systém REMOPLAST EP ZINK, kde průměrné poškození plochy mřížky bylo větší než 5 %, ale menší než 15 %. U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST bylo poškození plochy mřížky vyšší než 65 %.

Ponorová zkouška poukázala na velmi podobné výsledky, které byly dosaženy po korozní zkoušce v umělé atmosféře solné mlhy. Při expozici v ponorové zkoušce došlo ke vzniku velmi malého, téměř nevýznamného počtu defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm. V případě vytvoření řezu do nátěrového systému REMOPLAST EP ZINK se po prvním cyklu objevilo velmi malé množství koroze a při další expozici nedošlo ke změně, avšak objevila se velmi malá delaminace. V okolí řezu došlo ke vzniku téměř nevýznamného počtu defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm. U systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST v průběhu expozice nedošlo k žádnému prorezavění, delaminaci ani korozi v řezu, v okolí řezu se nevyskytly žádné puchýře. Odtrhová zkouška přilnavosti poukázala na nízkou hodnotu odtrhové pevnosti, která se pohybovala kolem 3 MPa a zároveň docházelo ke 100% adheznímu poškození mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou. Mřížková zkouška přilnavosti u nátěrového systému REMOPLAST EP ZINK poukázala na lepší přilnavost (poškození plochy mřížky max. do 5 %) než u systému REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST (poškození plochy mřížky větší než 65 %).

Celkově lze konstatovat, že nátěrové systémy vykazovaly velmi dobrou korozní odolnost, avšak přilnavost s dobou expozice poklesla.

LITERATURA

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7
- [2] KŘÍŽ, Rudolf. VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka, svazek 8*. Praha: SCIENTIA, spol. s r. o., 1998. ISBN 80-7183-054-2
- [3] Fakulta výrobních technologií a managementu. *Koroze a ochrana materiálů, učební text určený pro prezenční studium*. Ústí nad Labem: J. E. Purkyně ISBN 814-257-1796-3
- [4] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*, 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-23
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2008, 1.vyd. 112 s. ISBN 978-80-248-0671-6
- [6] SIOSTRZONEK, R. *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava, 2007. 150 s. Disertační práce na strojní fakultě VŠB – TUO na katedře mechanické technologie. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.
- [7] BARDEL, E. *Corrosion and Protection*. Springer – Verlag London Limited, 2004. ISBN 1-85233-758-3
- [8] ČSN EN ISO 12944-2. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy: Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. Praha: Český normalizační institut 1998.
- [9] ČSN EN ISO 12944-5. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy: Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. Praha: Český normalizační institut 2008.

- [10] ČSN EN ISO 8501-4: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po vysokotlakém tryskání vodou*. Praha: Český normalizační institut 2006.
- [11] ČSN ISO 8502-3 : *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: Český normalizační institut, Srpen 1999.
- [12] ČSN EN ISO 8504-2: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Metody přípravy povrchu - Část 2: Otryskávání*. Praha: Český normalizační institut 1994.
- [13] ČSN EN ISO 8501-1: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [14] ČSN EN ISO 2808: *Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [15] ČSN 67 3087: *Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování /postup podle Machu a Schiffmana/*. Praha: Český normalizační institut, 1982.
- [16] ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [17] ČSN EN ISO 4628-2: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [18] ČSN EN ISO 4628-3: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Praha: Český normalizační institut, Duben 2004. 19 s.
- [19] ČSN EN ISO 4628-8: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha: Český normalizační institut, Listopad 2005. 11 s.
- [20] ČSN EN ISO 16276-1: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 1: Odtrhová zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [21] ČSN EN ISO 2409 : *Nátěrové hmoty - mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, Říjen 2007.
- [22] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [23] ČSN EN ISO 9227 : *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, Březen 2007. 24 s.
- [24] Koroze a povrchové úpravy [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z WWW: <http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/koroze_a_povrch_upravy.pdf>.
- [25] Český hydrometeorologický ústav. [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://generator.citace.com/dok/cvz4oRGuVNXO8iRb?kontrola=1>>.
- [26] Koroze a ochrana proti korozi [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t-06_koroz8ekovuaslitin.pdf>.

- [27] Korozní zkoušení kovových materiálů [online]. 2010 [cit. 2012-02-05 ve 16.00hod.]. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/k2.html>>.
- [28] Elektrochemická protikorozní ochrana. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné zWWW:<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_elchem.htm#obr18>.
- [29] Fyzikmatik píše: Bludné proudy. [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://fyzmatik.pise.cz/13110-bludne-proudy.html>>.
- [30] ELNA – renovace Jiří Růžička. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.elna-renovace.cz/default.aspx?obsah=260>>.
- [31] Idda. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://idda.cz/drat.htm>>.
- [32] Tryskacie materialy: Korund hnedý. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://tryskaciematerialy.sk/?page=korund-hnedy>>.
- [33] Podniková ekologie a systémy řízení. [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné zWWW:<<http://avallo-mk.webnode.cz/news/chemikalie-obsahujici-voc-apovinnosti-podle-zakona-o-ochrane-ovzdusi/>>.
- [34] Top servis. [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.tsho.cz/mechanicka-priprava-povrchu-a-tryskani-/povrchove-upravy.htmlhemikalie-obsahujici-voc-a-povinnosti-podle-zakona-o-ochrane-ovzdusi/>>.
- [35] Barvy a laky: slovník pro správný výběr nátěrové hmoty. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.ireceptar.cz/pro-kutily/postupy-a-navody/barvy-a-laky-slovník-pro-spravny-vyber-naterove-hmoty/>>.
- [36] MM průmyslové spektrum: Moderní technologie průmyslového čištění. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/b-moderni-technologie-prumysloveho-cistení.html>>.

- [37] CHEDO: Předúprava ocelových povrchů. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.chedo.cz/kat/Preduprava--ocelovych---povrchu-440/?PHPSESSID=b7f718a542c59b4351408f0a25ddd4f0>>.
- [38] Ekologické centrum: Nová vyhláška MŽP pro těkavé organické látky. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.eckralupy.cz/clanky.php?page=vyhlaska>>.
- [39] U.S. steel Košice. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z WWW:<<http://www.usske.sk/products/cat-s/hot-roll/special/enameling.html>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Rozložení korozní rychlosti uhlíkové oceli na území ČR	15
Obr. 2 - Vývoj roční depozice síry, oxidovaných forem dusíku a vodíku na plochu ČR [25]	15
Obr. 3 - Rovnoměrná koroze, 1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení [27]	17
Obr. 4 - a) Schéma důlkové koroze, b) Schéma bodové koroze, c) Schéma skvrnitě koroze[27].....	18
Obr. 5 - Schéma selektivní koroze a) napadena jedna fáze vícefázové struktury, b) napadení jednotlivých zrn struktury [27]	18
Obr. 6 - Mezikrystalová koroze.....	19
Obr. 7 - Transkrystalová koroze	19
Obr. 8 - půdní koroze, ukázka bludných proudů [28]	20
Obr. 9 - Příklad otryskávacího média, vlevo: Litinový granulát, vpravo: Litinová drť [31]	33
Obr. 10 - Příklad otryskávacího média, vlevo: Sekaný drát[31], vpravo: Korund hnědý[32].....	34
Obr. 11 - tryskání suchým ledem [30]	40
Obr. 12 - kartáčovací kotouče [3]	41
Obr. 13 - Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3 [11]	45
Obr. 14 - Měřicí přístroj ELCOMETER 456	46
Obr. 15 - Zkušební přístroj Elcometer.....	52
Obr. 16 - Mikrosnímek otryskaného povrchu při zvětšení 200x	54
Obr. 17 - Fotografická dokumentace povrchu podkladových materiálů s detailem povrchu	57
Obr. 18 - Fotografická dokumentace experimentálních vzorků s aplikovanými nátěrovými hmotami, vlevo: REMOPLAST EP ZINK, vpravo: REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST.....	59

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 - Dělení korozní agresivity dle normy ČSN EN ISO 12 994-2 [8]</i>	13
<i>Tab. 2 - Dělení nátěrových hmot [1]</i>	27
<i>Tab. 3 - Hodnocení kvality tryskaného povrchu [13]</i>	33
<i>Tab. 4 - popis vzhledu povrchu [10]</i>	37
<i>Tab. 5 - popis vzhledu povrchu bleskové koroze [10]</i>	38
<i>Tab. 6 - Dělení zrnitosti [1]</i>	41
<i>Tab. 7 - Třídy velikosti prachových částic dle ČSN ISO 8502-3 [11]</i>	44
<i>Tab. 8 - stupně prorezavění [18]</i>	51
<i>Tab. 9 – Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [21]</i>	53
<i>Tab. 10 - Mechanické vlastnosti oceli KOSMALT - E 300T [39]</i>	54
<i>Tab. 11 - Chemické složení oceli KOSMALT - E 300T [39]</i>	54
<i>Tab. 12 - Značení vzorků REMOPLAST EP ZINK</i>	55
<i>Tab. 13 - Značení vzorků REMOPLAST HS – KST FAST</i>	55
<i>Tab. 14 - hodnocení nečistot</i>	57
<i>Tab. 15 - Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301</i>	58
<i>Tab. 16 - Tabulka naměřených hodnot drsnosti povrchu</i>	58
<i>Tab. 17- tloušťka suché vrstvy nátěrového systému REMOPLAST EP ZINK</i>	61
<i>Tab. 18 - tloušťka suché vrstvy nátěrového systému REMOPLAST HS – KST FAST</i>	62
<i>Tab. 19 - Hodnocení nátěrového systému (Základ+Mezivrstva) v průběhu korozní zkoušky v umělé atmosféře</i>	63
<i>Tab. 20 – Vyhodnocení charakteristiky lomu</i>	65
<i>Tab. 21 – Klasifikace mřížkové zkoušky</i>	66
<i>Tab. 22 - Hodnocení nátěrového systému (Základ+Mezivrstva) v průběhu ponorové zkoušky</i>	68
<i>Tab. 23 – Vyhodnocení charakteristiky lomu</i>	69
<i>Tab. 24 - Klasifikace mřížkové zkoušky</i>	71
<i>Tab. 25 - Vypočtené hodnoty hustoty, obsahu VOC látek a obsahu sušiny nátěrových systémů</i>	72

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1 - Graf drsnosti povrchu podkladového materiálu KOSMALT E300T	59
Graf. 2 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici v korozní komoře	65
Graf. 3 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u korozní zkoušky.....	67
Graf. 4 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u ponorové zkoušky.....	70
Graf. 5 - Graf srovnání referenčních vzorků a vzorků po expozici u ponorové zkoušky.....	71
Graf. 6 - Křivky odparu nátěrových hmot	72
Graf. 7 - Porovnání křivek odparu nátěrových hmot	73

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1** Technický a aplikační list nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK
- Příloha 2** Technický a aplikační list nátěrové hmoty REMOPLAST HS – KST FAST
- Příloha 3** Fotodokumentace vzorků v průběhu expozice v korozní komoře u nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK
- Příloha 4** Fotodokumentace vzorků v průběhu expozice v korozní komoře u nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST
- Příloha 5** Fotodokumentace vzorků v průběhu expozice zrychlenou ponorovou zkouškou u nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK
- Příloha 6** Fotodokumentace vzorků v průběhu expozice zrychlenou ponorovou zkouškou u nátěrové hmoty REMOPLAST EP ZINK + REMOPLAST HS – KST FAST
- Příloha 7** Hmotnostní úbytek při zkoušce těkavých organických látek gravimetrickou metodou

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych vyjádřit poděkování zaměstnancům VŠB-TU Ostrava, kteří se na diplomové práci podíleli. Především chci poděkovat doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za umožnění vypracovat diplomovou práci pod jejím vedením, za spoustu konstruktivních připomínek a poskytnutí cenných rad při vytváření práce.

Taktéž chci poděkovat Ing. Tomáši Laníkovi za materiální a technickou pomoc při tvorbě experimentální části této práce.

